Experimental-Untersuchungen

über

ELEKTRICITÄT

von

Michael Faraday.

Deutsche Uebersetzung

von

Dr. S. Kalischer,
Privatdocent an der Technischen Hochschule zu Berlin.

In drei Bänden.

Dritter Band.

Mit in den Text gedruckten Abbildungen und 5 Tafeln.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1891.

Vorbemerkung des Uebersetzers.

Den Zuwachs, welchen dieser Band gegen den im Jahre 1855 erschienenen dritten und letzten Band der *Experimental Researches* erhalten hat, bildet vor Allem die XXX. Reihe, die erst im Jahre 1856 in den *Philosophical Transactions* veröffentlicht wurde. Die Reihenfolge der Arbeiten des III. Bandes der *Researches* ist beibehalten worden, und an diese schliesst sich die XXX. Reihe an. Ausserdem sind eine Anzahl kleiner Aufsätze hinzugekommen, die bis 1846 zurückreichen und mit dem Jahre 1860 abschliessen. Dieselben folgen der XXX. Reihe in chronologischer Ordnung. Hiervon bildet nur ein kurzer Aufsatz in Form eines Briefes an Tyndall, *Magnetic Remarks*, p. 636, eine Ausnahme, der aus Versehen nicht an die seinem Datum entsprechende Stelle gekommen und daher an das Ende des Bandes getreten ist. Hiermit hoffe ich sämmtliche veröffentlichte Arbeiten Faraday's über Elektricität und Magnetismus in den drei Bänden dieser Uebersetzung herausgegeben zu haben.

Eben dieses Streben nach Vollständigkeit brachte es mit sich, dass auch einige Briefauszüge, insoweit sie in wissenschaftlichen Journalen erschienen sind, Aufnahme fanden, ohne dass sie etwas Neues böten oder mehr wären als eine Inhaltsangabe oder Anzeige grösserer Arbeiten, wie die Briefstellen S. 561—569. Aus demselben Motive wurden ferner einige andere Arbeiten diesem Bande einverleibt, die mehr die Form von Referaten haben, nach Vorträgen, die Faraday in der Royal Institution gehalten hat, und die zum grössten Theil von experimentellen Demonstrationen begleitet waren. Derartige bis zur Zeit der Redaction des III. Bandes der *Researches* in den *Proceedings of the Royal Institution* etc. erschienene Auszüge aus Vorträgen hat Faraday gleichfalls dem genannten Bande einverleibt. Neu hinzugekommen sind hier die ebenda erschienenen Vorträge: *On electric conduction*, p. 574; *On Ruhmkorff's induction apparatus*, p. 584; *On certain magnetic actions and affections*, p. 607; die wichtige Abhandlung *Remarks on static induction*,*) p. 613; *On Wheatstone's electric telegraph in relation*

*) Vgl. Maxwell, Handbuch der Elektricität und des Magnetismus, deutsche Uebersetzung von Dr. B. Weinstein, vol. I, p. 98 f.

to science, p. 619; *On Lighthouse illumination — the electric light*, p. 626 und *On the electric silk-loom*, p. 630. Die Referate rühren ohne Zweifel von Faraday selbst her, sie tragen sämmtlich wie die von Faraday selbst in die *Researches* aufgenommenen die Namenszeichen M. F. Nur ein ebenfalls in den *Proceedings* etc. I, p. 1 erschienenes Referat nach einem Vortrage vom 24. Januar 1851, *On the magnetic characters and relations of oxygen and nitrogen*, dessen Gegenstand die in der vierundzwanzigsten Reihe und in der Abhandlung *Ueber das diamagnetische Verhalten der Flammen und Gase*, p. 429, niedergelegten Resultate bildeten, scheint nicht von Faraday herzurühren, da es nicht seine Namenszeichen trägt und auch in den *Researches* keine Aufnahme gefunden hat. Die Wiedergabe desselben ist daher auch hier unterblieben.

Wie Faraday im *Vorwort* bemerkt, haben die Abhandlungen bei ihrer Sammlung für die *Researches* keine oder nur geringe Aenderungen gegen die Originale erfahren. In der That sind dieselben mit einer einzigen Ausnahme nur redactioneller Natur. Diese Ausnahme bildet das Referat des Vortrages *Observations on the magnetic force* (p. 457), dessen Schluss, eine kurze literarische Uebersicht über den Zusammenhang zwischen den magnetischen Variationen und den Sonnenflecken, fortgelassen wurde. Dieselbe ist am Ende dieses Bandes unter letzterem Titel wiedergegeben worden.

Die Abhandlung von Riess über die Wirkung nichtleitender Körper bei der elektrischen Induction, p. 579, eine Erwiderung auf Faraday's ebenfalls neu hinzugekommene gleichnamige polemische Abhandlung, p. 588, musste aufgenommen werden, da Faraday sie mit Anmerkungen versehen hat.

Endlich wären noch als neu hinzugekommen zu nennen: *On electrodynamic induction in liquids*, p. 570, und *On the persistent appearance of the lightning flash*, p. 611.

Die Quellen, denen die genannten Abhandlungen entnommen sind, sind an Ort und Stelle angegeben.

Berlin, den 16. Juli 1891.

Dr. S. Kalischer.

Vorwort des Verfassers.

Aus den bereits im Vorwort zum ersten Bande dieser Experimental-Untersuchungen angegebenen Gründen habe ich mich veranlasst gesehen, auch die übrigen Reihen zu sammeln und ihnen gewisse andere Abhandlungen über Elektricität und Magnetismus hinzuzufügen.

Auf diese in dem genannten Vorwort enthaltenen Gründe verweise ich diejenigen, welche auch diesen Untersuchungen ihre Aufmerksamkeit schenken. Die diesen Band bildenden Abhandlungen haben beim Wiederabdruck nur eine geringe oder keine Aenderung erfahren, ausgenommen, dass ich das wahre und genaue Datum einer jeden an die Spitze der Seiten gesetzt habe.

In Betreff der magnekrystallischen Wirkungen, deren Darlegung mit Artikel 2454 beginnt, wird der Leser die allmähliche Wandlung und Erweiterung der Ansichten hinsichtlich ihrer Natur im Laufe der ausgedehnten Untersuchungen in den Artikeln 2550, 2562, 2576, 2584 etc., 2591, 2639, 2797, 2818, 2836 etc. erkennen. Ich verweise den Leser auf die im Philosophical Magazine 1850, vol. XXXVII, p. 1 enthaltene Abhandlung von Tyndall und Knoblauch, als auf eine wahrhaft philosophische Darlegung der physikalischen Ursache der magnekrystallischen Wirkungen[1]), und auf die Abhandlung von W. Thomson über die Theorie der magnetischen Induction in krystallischen und nichtkrystallischen Substanzen im Philosophical Magazine 1851, vol. I, p. 177, die sich in allen Punkten mit meinen zu verschiedenen Zeiten erhaltenen experimentellen Resultaten in vollkommener Uebereinstimmung befindet.

Was die in den Artikeln 2967 und 3242 ausgesprochene Absicht betrifft, mit Sauerstoff bei niedrigen Temperaturen zu experimentiren, so habe ich mich bemüht, dieselbe auszuführen. Allein die Schwierigkeit, mit so verdünnten Stoffen wie die Gase bei niedrigen Temperaturen zu arbeiten, ohne dass Luftströmungen entstehen, die die sehr empfindliche Torsionswaage und den zur Messung erforderlichen Apparat beeinflussen, ist so

---

[1]) Marchand und Scheerer geben an, dass Wismuth sich durch Druck ausdehnt und seine Structur ändert. Gmelin's Handbuch, IV, p. 428.

ausserordentlich gross, dass ich bisher keinerlei zuverlässige Resultate zu erhalten vermochte.

Vielen Dank schulde ich der Royal Society und den Verlegern des Philosophical Magazine für die grosse Freundlichkeit, mit der sie mir Platten etc. liehen und sonstige Gefälligkeiten beim Druck dieses Bandes erwiesen.

Da das Register sowohl zu den *Experimental-Untersuchungen* als auch zu den anderen Abhandlungen gehört, so sind seine Verweisungen nothwendig zweierlei Art. Die auf die Untersuchungen bezüglichen geben, wie in den vorigen Bänden, die Nummern der Artikel an und sind durch die Grösse der Zahlen leicht kenntlich; die anderen geben die Seitenzahl an und ihnen geht stets p. oder pp. voran.

Januar 1855.

Michael Faraday.

Inhalt.

			Art.
XIX. Reihe.	§ 26.	Ueber die Magnetisirung des Lichtes und die Erleuchtung der magnetischen Kraftlinien	2146
		1. Wirkung des Magnetismus auf das Licht . . .	2146
		2. Wirkung der elektrischen Ströme auf das Licht	2189
		3. Allgemeine Betrachtungen	2221
XX. Reihe.	§ 27.	Ueber neue magnetische Wirkungen und über den magnetischen Zustand aller Materie.	2243
		1. Der Apparat	2245
		2. Wirkung von Magneten auf schweres Glas. . .	2253
		3. Wirkung von Magneten auf andere Substanzen, welche auf das Licht magnetisch wirken. . . .	2275
		4. Wirkung von Magneten auf die Metalle im Allgemeinen	2287
		— Repulsiverscheinungen	2309
XXI. Reihe.	§ 27 (Fortsetzung).		
		5. Wirkung von Magneten auf die magnetischen Metalle und deren Verbindungen	2343
		6. Wirkung von Magneten auf Luft und Gase . .	2400
		7. Allgemeine Betrachtungen	2417
XXII. Reihe.	§ 28.	Ueber die Krystallpolarität des Wismuths (und anderer Körper) und über ihre Beziehung zur magnetischen Kraftform	2454
		1. Krystallpolarität des Wismuths	2457
		2. Krystallpolarität des Antimons	2508
		3. Krystallpolarität des Arsens	2532
		4. Krystallzustand verschiedener Körper	2535
		5. Natur der Magnekrystallkraft und allgemeine Betrachtungen.	2550
		6. Ueber die Einstellung eines Eisenvitriolkrystalls im magnetischen Felde.	2615
XXIII. Reihe.	§ 29.	Ueber den polaren oder sonstigen Zustand diamagnetischer Körper	2640
XXIV. Reihe.	§ 30.	Ueber die mögliche Beziehung zwischen Schwerkraft und Elektricität.	2702
XXV. Reihe.	§ 31.	Ueber den magnetischen und diamagnetischen Zustand der Körper	2718
		1. Nicht-Ausdehnung gasförmiger Körper durch magnetische Kräfte	2718

			Art.
		2. Magnetische Differentialwirkung	2757
		3. Magnetischer Charakter des Sauerstoffs, Stickstoffs und des Raumes	2770
XXVI. Reihe.	§ 32.	Magnetisches Leitungsvermögen	2797
		1. Magnetische Leitung	2797
		2. Leitungspolarität	2818
		3. Magnekrystallische Leitung	2836
	§ 33.	Atmosphärischer Magnetismus	2847
		1. Allgemeine Principien	2847
XXVII. Reihe.	§ 33.	2. Experimentelle Untersuchung der Gesetze der magnetischen Wirkung der Atmosphäre und deren Anwendung auf besondere Fälle	2969
		Ueber atmosphärischen Magnetismus	p. 293
XXVIII. Reihe.	§ 34.	Ueber magnetische Kraftlinien, ihre Bestimmtheit und ihre Vertheilung in einem Magnet und im Raume	3070
XXIX. Reihe.	§ 35.	Ueber die Anwendung des magnetoelektrischen Inductionsstromes zum Nachweis und zur Messung magnetischer Kräfte	3177
		1. Galvanometer	3178
		2. Rotirende Rechtecke und Ringe	3192
	§ 36.	Ueber den Betrag und die allgemeine Vertheilung der Kräfte eines Magnets in Verbindung mit anderen Magneten	3215
	§ 37.	Abbildung magnetischer Kraftlinien mittelst Eisenfeilspäne	3234
Ueber die magnetischen Kraftlinien			p. 366
Ueber den physikalischen Charakter der magnetischen Kraftlinien			3443

			Seite
Ueber die physischen Magnetkraftlinien			401
Ueber die magnetischen Beziehungen und Charaktere der Metalle			407
Gedanken über Schwingungsstrahlen			410
Ueber die Einwirkung des Magnetismus auf das Licht (wiederholte Reflexionen) und über den Unterschied zwischen den ferromagnetischen und diamagnetischen Zuständen der Materie			416
Ueber das diamagnetische Verhalten der Flammen und Gase			429
Ueber die Bewegungen der Flammen unter elektromagnetischen Einfluss; von Zantedeschi			450
Ueber den Nutzen der Guttapercha für die elektrische Isolation			454
Beobachtungen über die magnetische Kraft (Gesetz der Fernwirkung)			457
Ueber elektrische Induction. — Fälle von gleichzeitigen Strömungs- und Ladungs-Wirkungen			467
Ueber unterirdische Telegraphendrähte			479
Hypothesen über Magnetismus			482
Ueber einige Punkte in der Theorie des Magnetismus		(Art. 3300)	486
Ueber einige Fragen zur Theorie des Magnetismus			521
Weitere Beobachtungen über Fälle von gleichzeitiger Strömungs- und Spannungswirkung bei der elektrischen Induction			529
XXX. Reihe.	§. 38.	Constanz der differentiellen Magnekrystallkraft in verschiedenen Medien	(Art. 3363) 534
	§ 39.	Einfluss der Wärme auf Magnekrystalle	(Art. 3394) 545
	§ 40.	Einfluss der Wärme auf die absolute magnetische Kraft der Körper	(Art. 3421) 555

Seite

Ueber den Einfluss des Magnetismus auf das Licht und auf andere als magnetische Körper 561
Ueber neue Beziehungen zwischen Elektricität, Licht und Magnetismus . 564
Ueber die Erscheinungen im magnetischen Felde. 566
Gleichzeitige statische und dynamische Wirkungen der Elektricität . . . 568
Ueber elektrodynamische Induction in Flüssigkeiten 570
Ueber elektrische Leitung 574
Ueber Ruhmkorff's Inductionsapparat 584
Ueber die Wirkung nichtleitender Körper bei der elektrischen Induction . 588
Dasselbe von P. Riess, mit Anmerkungen von Faraday 597
Ueber gewisse magnetische Vorgänge und Wirkungen 607
Ueber die Dauererscheinung des Blitzes 611
Bemerkungen über statische Induction 613
Ueber Wheatstone's elektrischen Telegraphen in Beziehung zur Wissenschaft 619
Ueber die Erleuchtung von Leuchtthürmen. Das elektrische Licht . . . 626
Ueber den elektrischen Seiden-Webstuhl. 630
Ueber den Zusammenhang zwischen den magnetischen Varationen und den Sonnenflecken 634
Bemerkungen über Magnetismus. 636

NEUNZEHNTE REIHE.[1])

§. 26. Ueber die Magnetisirung des Lichtes und die Erleuchtung der magnetischen Kraftlinien.[2]) I. Wirkung des Magnetismus auf das Licht. II. Wirkung der elektrischen Ströme auf das Licht. III. Allgemeine Betrachtungen.

Eingegangen am 6. November, — Gelesen am 20. November 1845.

I. Wirkung des Magnetismus auf das Licht.

2146. Längst hegte ich, wie ich glaube, in Gemeinschaft mit vielen anderen Freunden der Naturwissenschaft, die fast an Ueberzeugung grenzende Meinung, dass die verschiedenen Formen, unter denen die Naturkräfte sich offenbaren, einen gemeinsamen Ursprung haben oder, mit anderen Worten,

---

[1]) Philosophical Transactions, 1846, p. 1.

[2]) Der Titel dieser Abhandlung hat, wie ich erfahre, Viele zu einer missverständlichen Auffassung ihres Inhaltes verleitet, und ich nehme mir daher die Freiheit, diese erläuternde Note hinzuzufügen. Ohne mich für oder wider die Annahme eines Aethers oder die Corpusculartheorie oder irgend eine andere mögliche Ansicht über die Natur des Lichtes auszusprechen, und in Erwägung, dass wir, soviel ich sehen kann, in Wahrheit über einen Lichtstrahl nicht mehr wissen als über eine magnetische oder elektrische Kraftlinie oder auch eine Linie der Schwerkraft, nicht mehr, als dass diese wie jener sich in und an den Substanzen manifestiren, glaube ich, dass in den Versuchen, die ich in dieser Abhandlung beschreibe, das Licht eine magnetische Einwirkung erlitten hat, d. h. dass das, was an den Kräften der Materie magnetisch ist, afficirt worden ist und andererseits das, was in der Kraft des Lichtes wahrhaft magnetisch ist, afficirt hat. Mit dem Worte magnetisch umfasse ich hier die eigenthümlichen Aeusserungen der Kraft eines Magnets, sie mögen sich an magnetischen oder diamagnetischen Körpern offenbaren. Den Ausdruck „Erleuchtung der magnetischen Kraftlinien“ hat man dahin verstanden, als hätte ich diese leuchtend gemacht. Diesen Sinn sollten meine Worte nicht haben, sondern ich wollte damit nur sagen, dass die magnetische Kraftlinie erleuchtet wurde, wie die Erde von der Sonne oder das Fadenkreuz eines Fernrohres von einer Lampe erleuchtet wird. Mit Hilfe eines Lichtstrahles können wir *mit dem Auge* die Richtung der einen Körper durchdringenden magnetischen Kraftlinien verfolgen, und indem wir den Strahl und seine optischen Wirkungen auf das Auge abändern, können wir den Verlauf dieser Linien sehen wie den Verlauf eines Fadens aus Glas oder einer anderen durchsichtigen Substanz, wenn sie durch

in so unmittelbarer Verwandtschaft und gegenseitiger Abhängigkeit stehen, dass sie sich gleichsam in einander verwandeln können und ihre Wirkung sich in äquivalenten Grössen äussert.[1]) In neuerer Zeit haben sich die Beweise für ihre Umwandelbarkeit in beträchtlichem Maasse gehäuft, und es ist bereits ein Anfang gemacht, die Kraftäquivalente zu bestimmen.

2147. Diese feste Ueberzeugung dehnte ich auch auf die Kräfte des Lichtes aus, und sie veranlasste mich schon früher zu vielfachen Versuchen, deren Ziel die Auffindung einer unmittelbaren Beziehung zwischen Licht und Elektricität und ihrer Wechselwirkung in beiden Kräften zugleich unterworfenen Körpern war[2]); allein die Resultate waren negativ, was späterhin Wartmann nur bestätigen konnte.[3])

2148. Diese erfolglosen Bemühungen nebst vielen anderen, die niemals veröffentlicht wurden, konnten meine aus philosophischen Betrachtungen gewonnene Ueberzeugung nicht umstossen, und ich nahm daher neuerdings die experimentelle Untersuchung in einer sehr strengen und eindringlichen Weise wieder auf, und es ist mir schliesslich gelungen, *einen Lichtstrahl zu magnetisiren und zu elektrisiren und eine magnetische Kraftlinie zu erleuchten.* Diese Resultate will ich, ohne in das Detail vieler fruchtloser Versuche einzugehen, so kurz und klar beschreiben als ich vermag.

2149. Ehe ich jedoch hierzu übergehe, will ich einige Ausdrücke, die zu gebrauchen ich Gelegenheit haben werde, definiren. Unter *Linie magnetischer Kraft* oder *magnetischer Kraftlinie* oder *magnetischer Curve* verstehe ich diejenige Aeusserung magnetischer Kraft, welche in Linien vor sich geht, die gemeinhin magnetische Curven genannt werden, und die sowohl von Magnetpolen fort und zu ihnen hin gehen, als auch concentrische Kreise um einen elektrischen Strom bilden. Unter *elektrischer Kraftlinie* verstehe ich die Kraft, die sich in Linien äussert, welche zwei nach den Principien der elektrostatischen Induction (1161 etc.) auf einander wirkende Körper verbinden und

---

das Licht sichtbar gemacht werden. Dies verstand ich unter *Erleuchtung*, wie aus der Abhandlung vollkommen deutlich hervorgeht. — 15. Dec. 1845. M. F.

[Man hat auch nach dieser Erläuterung immer wieder Klage geführt über die Unklarheit des in Rede stehenden Ausdrucks, aber ich glaube, mit Unrecht. Bis dahin liessen sich die magnetischen Kraftlinien nur durch Eisenfeilspäne, also an einem undurchsichtigen Körper sichtbar machen, und das Licht spielte hierbei nur eine indirecte Rolle, insofern wir es haben müssen, um die Eisenfeilspäne überhaupt zu sehen. In der vorliegenden Abhandlung aber ist es das Licht selbst, das durch den Magnetismus eine Abänderung erleidet in einem durchsichtigen Körper, und die Art dieser Abänderung macht uns das Dasein und den Verlauf der magnetischen Kraftlinien unmittelbar sichtbar. Man könnte Faraday's Titel „On the magnetization of light and the illumination of magnetic lines of force" sinngemäss einfach so wiedergeben: „Ueber die Magnetisirung des Lichtes und die *hierdurch bewirkte Sichtbarmachung* der magnetischen Kraftlinien". D. Ü.]

[1]) Experimental-Untersuchungen 57, 366, 376, 877, 961, 2071.

[2]) Philosophical Transactions, 1834. Experimental-Untersuchungen 951—955.

[3]) Archives de l'Électricité, II. pp. 596—600.

die sowohl krumm als gerade sein können. Unter einem *Diamagneticum* verstehe ich einen Körper, durch den magnetische Kraftlinien hindurchgehen können, ohne dass er unter ihrem Einfluss den gewöhnlichen magnetischen Zustand des Eisens oder Magneteisensteins annimmt.

2150. Ein von einer Argandlampe ausgehender und durch Reflexion an einer Glasfläche in horizontaler Ebene polarisirter Lichstrahl wurde durch ein Nicol'sches Prisma gesandt, das zur leichteren Untersuchung desselben um eine horizontale Axe drehbar war. Zwischen dem polarisirenden Spiegel und dem Nicol waren zwei kräftige Elektromagnetpole, entweder die Pole eines Hufeisenmagnets oder die ungleichnamigen Pole zweier cylindrischer Magnete aufgestellt. Ihr Abstand von einander in Richtung des Strahles betrug ungefähr 2 Zoll, und zwar befanden sich beide entweder auf derselben Seite des polarisirten Lichtstrahles, so dass er nahe bei ihnen vorbeiging, oder zu beiden Seiten desselben, so dass er zwischen ihnen hindurchging und seine Richtung stets parallel oder nahezu parallel der magnetischen Kraftlinie war (2149). Demnach musste eine durchsichtige Substanz zwischen den beiden Polen von dem polarisirten Lichtstrahl und den magnetischen Kraftlinien gleichzeitig und in derselben Richtung durchsetzt werden.

2151. Vor sechzehn Jahren machte ich einige Versuche über optisches Glas bekannt[1]) und beschrieb die Darstellung und allgemeinen Eigenschaften einer Art schweren Glases, das seiner Zusammensetzung wegen kieselborsaures Bleioxyd genannt wurde. Dieses Glas war es, das mich auf die Entdeckung der Beziehung zwischen Licht und Magnetismus führte und das sich weit besser als irgend ein anderer Körper zum Nachweis derselben eignet. Der Deutlichkeit wegen will ich zunächst die Erscheinungen beschreiben, wie sie sich bei dieser Substanz zeigen.

2152. Ein Stück dieses Glases von ungefähr 2 Zoll im Quadrat und 0,5 Zoll Dicke mit plangeschliffenen Endflächen wurde als *Diamagneticum* (2149) zwischen die Pole (die noch nicht durch den elektrischen Strom magnetisirt waren) gestellt, so dass der polarisirte Lichtstrahl es seiner Länge nach durchlaufen musste; das Glas wirkte nicht anders als Luft, Wasser oder eine ähnliche indifferente Substanz, denn wenn das Nicol in eine solche Lage gebracht war, dass der polarisirte Lichtstrahl ausgelöscht oder vielmehr das von ihm erzeugte Bild unsichtbar war, so brachte die Zwischensetzung dieses Glases keine Aenderung hervor. Wenn nun unter diesen Umständen der Elektromagnet erregt wurde, indem man durch seine Drahtumwickelung einen elektrischen Strom sandte, so wurde das Bild der

---

[1]) Philosophical Transactions, 1830, p. 1. Ich kann bei dieser Gelegenheit nicht unterlassen, Anderson zu erwähnen, der mein Assistent bei den Glas-Versuchen war und seitdem im Laboratorium der Royal Institution geblieben ist. Er unterstützte mich bei allen seitdem von mir unternommenen Untersuchungen, und seiner Sorgfalt, Ausdauer, Genauigkeit und Gewissenhaftigkeit in Ausführung aller ihm ertheilten Aufträge habe ich viel zu verdanken. — M. F.

in so unmittelbarer Verwandtschaft und gegenseitiger Abhängigkeit stehen, dass sie sich gleichsam in einander verwandeln können und ihre Wirkung sich in äquivalenten Grössen äussert.[1]) In neuerer Zeit haben sich die Beweise für ihre Umwandelbarkeit in beträchtlichem Maasse gehäuft, und es ist bereits ein Anfang gemacht, die Kraftäquivalente zu bestimmen.

2147. Diese feste Ueberzeugung dehnte ich auch auf die Kräfte des Lichtes aus, und sie veranlasste mich schon früher zu vielfachen Versuchen, deren Ziel die Auffindung einer unmittelbaren Beziehung zwischen Licht und Elektricität und ihrer Wechselwirkung in beiden Kräften zugleich unterworfenen Körpern war[2]); allein die Resultate waren negativ, was späterhin Wartmann nur bestätigen konnte.[3])

2148. Diese erfolglosen Bemühungen nebst vielen anderen, die niemals veröffentlicht wurden, konnten meine aus philosophischen Betrachtungen gewonnene Ueberzeugung nicht umstossen, und ich nahm daher neuerdings die experimentelle Untersuchung in einer sehr strengen und eindringlichen Weise wieder auf, und es ist mir schliesslich gelungen, *einen Lichtstrahl zu magnetisiren und zu elektrisiren und eine magnetische Kraftlinie zu erleuchten.* Diese Resultate will ich, ohne in das Detail vieler fruchtloser Versuche einzugehen, so kurz und klar beschreiben als ich vermag.

2149. Ehe ich jedoch hierzu übergehe, will ich einige Ausdrücke, die zu gebrauchen ich Gelegenheit haben werde, definiren. Unter *Linie magnetischer Kraft* oder *magnetischer Kraftlinie* oder *magnetischer Curve* verstehe ich diejenige Aeusserung magnetischer Kraft, welche in Linien vor sich geht, die gemeinhin magnetische Curven genannt werden, und die sowohl von Magnetpolen fort und zu ihnen hin gehen, als auch concentrische Kreise um einen elektrischen Strom bilden. Unter *elektrischer Kraftlinie* verstehe ich die Kraft, die sich in Linien äussert, welche zwei nach den Principien der elektrostatischen Induction (1161 etc.) auf einander wirkende Körper verbinden und

---

das Licht sichtbar gemacht werden. Dies verstand ich unter *Erleuchtung*, wie aus der Abhandlung vollkommen deutlich hervorgeht. — 15. Dec. 1845. M. F.

[Man hat auch nach dieser Erläuterung immer wieder Klage geführt über die Unklarheit des in Rede stehenden Ausdrucks, aber ich glaube, mit Unrecht. Bis dahin liessen sich die magnetischen Kraftlinien nur durch Eisenfeilspäne, also an einem undurchsichtigen Körper sichtbar machen, und das Licht spielte hierbei nur eine indirecte Rolle, insofern wir es haben müssen, um die Eisenfeilspäne überhaupt zu sehen. In der vorliegenden Abhandlung aber ist es das Licht selbst, das durch den Magnetismus eine Abänderung erleidet in einem durchsichtigen Körper, und die Art dieser Abänderung macht uns das Dasein und den Verlauf der magnetischen Kraftlinien unmittelbar sichtbar. Man könnte Faraday's Titel „On the magnetization of light and the illumination of magnetic lines of force" sinngemäss einfach so wiedergeben: „Ueber die Magnetisirung des Lichtes und die *hierdurch bewirkte Sichtbarmachung* der magnetischen Kraftlinien". D. Ü.]

[1]) Experimental-Untersuchungen 57, 366, 376, 877, 961, 2071.

[2]) Philosophical Transactions, 1834. Experimental-Untersuchungen 951—955.

[3]) Archives de l'Électricité, II. pp. 596—600.

die sowohl krumm als gerade sein können. Unter einem *Diamagneticum* verstehe ich einen Körper, durch den magnetische Kraftlinien hindurchgehen können, ohne dass er unter ihrem Einfluss den gewöhnlichen magnetischen Zustand des Eisens oder Magneteisensteins annimmt.

2150. Ein von einer Argandlampe ausgehender und durch Reflexion an einer Glasfläche in horizontaler Ebene polarisirter Lichstrahl wurde durch ein Nicol'sches Prisma gesandt, das zur leichteren Untersuchung desselben um eine horizontale Axe drehbar war. Zwischen dem polarisirenden Spiegel und dem Nicol waren zwei kräftige Elektromagnetpole, entweder die Pole eines Hufeisenmagnets oder die ungleichnamigen Pole zweier cylindrischer Magnete aufgestellt. Ihr Abstand von einander in Richtung des Strahles betrug ungefähr 2 Zoll, und zwar befanden sich beide entweder auf derselben Seite des polarisirten Lichtstrahles, so dass er nahe bei ihnen vorbeiging, oder zu beiden Seiten desselben, so dass er zwischen ihnen hindurchging und seine Richtung stets parallel oder nahezu parallel der magnetischen Kraftlinie war (2149). Demnach musste eine durchsichtige Substanz zwischen den beiden Polen von dem polarisirten Lichtstrahl und den magnetischen Kraftlinien gleichzeitig und in derselben Richtung durchsetzt werden.

2151. Vor sechzehn Jahren machte ich einige Versuche über optisches Glas bekannt[1]) und beschrieb die Darstellung und allgemeinen Eigenschaften einer Art schweren Glases, das seiner Zusammensetzung wegen kieselborsaures Bleioxyd genannt wurde. Dieses Glas war es, das mich auf die Entdeckung der Beziehung zwischen Licht und Magnetismus führte und das sich weit besser als irgend ein anderer Körper zum Nachweis derselben eignet. Der Deutlichkeit wegen will ich zunächst die Erscheinungen beschreiben, wie sie sich bei dieser Substanz zeigen.

2152. Ein Stück dieses Glases von ungefähr 2 Zoll im Quadrat und 0,5 Zoll Dicke mit plangeschliffenen Endflächen wurde als *Diamagneticum* (2149) zwischen die Pole (die noch nicht durch den elektrischen Strom magnetisirt waren) gestellt, so dass der polarisirte Lichtstrahl es seiner Länge nach durchlaufen musste; das Glas wirkte nicht anders als Luft, Wasser oder eine ähnliche indifferente Substanz, denn wenn das Nicol in eine solche Lage gebracht war, dass der polarisirte Lichtstrahl ausgelöscht oder vielmehr das von ihm erzeugte Bild unsichtbar war, so brachte die Zwischensetzung dieses Glases keine Aenderung hervor. Wenn nun unter diesen Umständen der Elektromagnet erregt wurde, indem man durch seine Drahtumwickelung einen elektrischen Strom sandte, so wurde das Bild der

---

[1]) Philosophical Transactions, 1830, p. 1. Ich kann bei dieser Gelegenheit nicht unterlassen, Anderson zu erwähnen, der mein Assistent bei den Glas-Versuchen war und seitdem im Laboratorium der Royal Institution geblieben ist. Er unterstützte mich bei allen seitdem von mir unternommenen Untersuchungen, und seiner Sorgfalt, Ausdauer, Genauigkeit und Gewissenhaftigkeit in Ausführung aller ihm ertheilten Aufträge habe ich viel zu verdanken. — M. F.

Lampenflamme sofort sichtbar und blieb es, so lange der Magnetismus unterhalten wurde. Sobald man den Strom unterbrach und hierdurch die magnetische Kraft zum Verschwinden brachte, verschwand auch das Licht augenblicklich. Diese Erscheinungen konnten nach Belieben wiederholt werden und zeigten somit in jedem Augenblick und bei jeder Gelegenheit, dass ein vollkommener Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung bestand.

2153. Der hierbei angewandte Volta'sche Strom wurde von fünf Grove'schen Elementen geliefert, und die Elektromagnete waren so stark, dass die Pole einzeln ein Gewicht von achtundzwanzig bis sechundfünfzig Pfund und darüber tragen konnten. Wer die Erscheinung nicht kennt, würde bei Anwendung eines schwachen Magnets nicht im Stande sein, sie wahrzunehmen.

2154. Der Charakter der hier auf das Diamagneticum ausgeübten Kraft ist der einer *Drehung*; denn wenn das Bild der Lampenflamme sichtbar geworden ist, so wird eine grössere oder geringere Drehung des Prismas nach rechts oder links es auslöschen und eine weitere Drehung von hier aus in dem einen oder anderen Sinne es wieder zum Vorschein bringen, und zwar in complementären Farben, je nachdem die letztere Drehung nach rechts oder nach links erfolgte.

2155. Wenn der dem Beobachter nähere Pol ein bezeichneter, d. h. identisch mit dem Nordende einer Magnetnadel, und der entferntere Pol ein unbezeichneter war, so war der Strahl nach rechts gedreht, denn man musste das Prisma nach rechts oder im Sinne eines Uhrzeigers drehen, um den Strahl einzuholen und das Bild wieder in den früheren Zustand zu versetzen. Wurden die Pole umgekehrt, was sich leicht durch Umkehrung der Richtung des elektrischen Stromes bewerkstelligen liess, so war auch die Drehung dem Sinne nach umgekehrt, also eine linksseitige, der Grösse nach aber gleich der früheren. Für dieselbe *magnetische Kraftlinie* (2149) war die Richtung immer dieselbe.

2156. Wenn das Diamagneticum in verschiedene, leicht vorzustellende Lagen gegen die Magnetpole gebracht wurde, so waren die Resultate der Grösse nach mehr oder weniger beträchtlich und der Art nach ganz bestimmt. Die eben beschriebenen Erscheinungen können jedoch als ein Hauptbeispiel für diese gelten, auf welche ich soweit nothwendig späterhin zurückkommen werde.

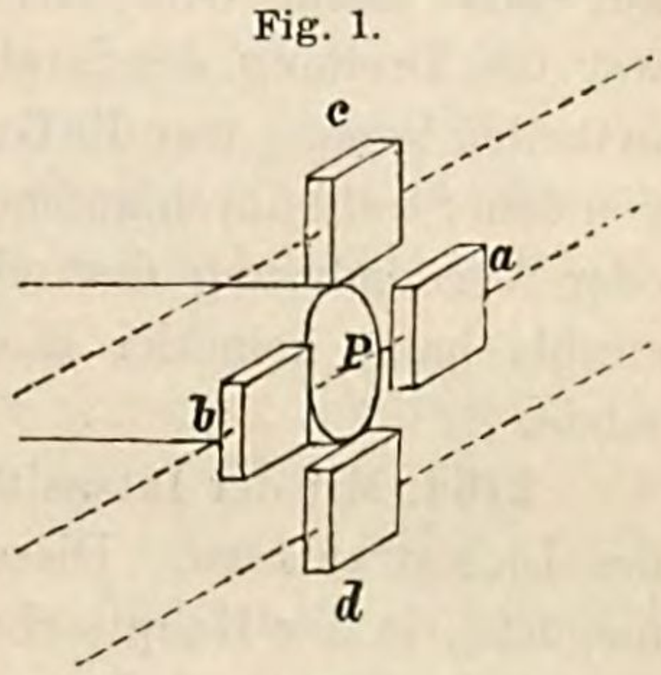
2157. Dieselben Erscheinungen traten in dem kieselborsauren Bleioxyd (2151) ohne Anwendung eines elektrischen Stromes unter Einfluss eines gewöhnlichen guten hufeisenförmigen Stahlmagnets auf. Die Resultate waren schwach, aber doch hinreichend, um die vollkommene Identität dieser Wirkung von Elektromagneten und gewöhnlichen Magneten auf das Licht zu zeigen.

2158. Wurden zwei Magnetpole einander gegenübergestellt, d. h. bildeten die Elektromagnetkerne hohle Eisencylinder, so dass der polarisirte Licht-

strahl längs ihren Axen und durch das zwischen denselben befindliche Diamagneticum hindurch ging, so war die Wirkung dieselbe.

2159. Nun wurde nur ein Pol angewandt, und zwar das eine Ende eines kräftigen cylindrischen Elektromagnets. Befand sich das schwere Glas dicht neben dem Magnet, an der dem Auge des Beobachters abgewandten Seite desselben zwischen dem Magnet und dem polarisirenden Reflector, so erfolgte die Drehung in einem bestimmten von dem Vorzeichen des Poles abhängigen Sinne; derselbe Pole bewirkte aber eine Drehung im entgegengesetzten Sinne, wenn das Diamagneticum sich wiederum dicht neben dem Magnet, aber diesseits desselben zwischen ihm und dem Auge des Beobachters befand. Mit der Vertauschung des Poles ändern sich auch die Drehungsrichtungen. War das schwere Glas über dem Pole oder in entsprechender Lage unter demselben aufgestellt, so dass die *magnetischen Curven* nicht mehr parallel zu dem polarisirten Lichtstrahl das Glas durchsetzten, sondern im rechten Winkel zu jenem standen, so fand gar keine Wirkung statt. Diese verschiedenen Fälle sind aus nebenstehender Figur ersichtlich, wo *a* und *b* die ersteren, *c* und *d* die letzteren Lagen des Diamagneticums, und die gestrichelten Linien den Gang des Lichtstrahls darstellen. Auch wenn das Glas direct vor das Ende des Magnets gestellt wurde, so erfolgte keine Wirkung auf einen Lichtstrahl, der in der eben erwähnten Richtung ging, obwohl, wie sich aus dem oben Gesagten (2155) ergiebt, ein Lichtstrahl, der das Glas in dieser Lage *parallel* zu den magnetischen Kraftlinien durchsetzte, afficirt werden würde.

Fig. 1.

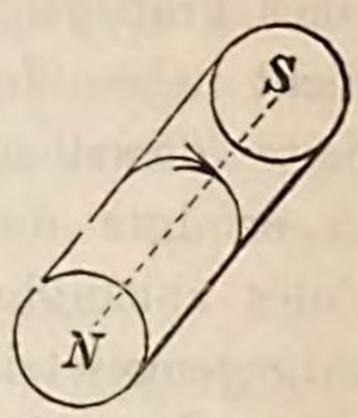


2160. Magnetische Kraftlinien, die durch kieselborsaures Bleioxyd und viele andere Substanzen (2173) hindurchgehen, befähigen also diese Körper auf einen polarisirten Lichtstrahl zu wirken, wenn jene Linien dem Lichtstrahl parallel sind, oder in dem Verhältniss als sie ihm parallel sind, während sie keine Wirkung haben, wenn die Linien senkrecht zum Lichtstrahl sind. Sie ertheilen dem Diamagneticum die Fähigkeit, den Strahl zu drehen, und zwar gilt für diese Wirkung das *Gesetz*, dass eine längs einem gegen den Beobachter gerichteten polarisirten Lichtstrahl *von* einem Nordpol *ausgehende* oder von einem Südpol *herkommende* magnetische Kraftlinie den Lichtstrahl nach rechts dreht, während eine solche vom Nordpol herkommende oder vom Südpol fortgehende Kraftlinie ihn nach links dreht.

2161. Denkt man sich als Diamagneticum einen Pfropfen oder einen Glascylinder, dessen Enden, um die Magnetpole vorzustellen, mit N und S bezeichnet seien, so kann man die Verbindungslinie dieser Buchstaben als eine magnetische Kraftlinie ansehen, und wenn man um den Cylinder eine mit Pfeilspitzen versehene Linie zieht in der in der Figur gezeichneten

Richtung, so lässt sich an diesem einfachen, vor das Auge gehaltenen Modell das ganze Gesetz und die Drehungsrichtung in jeder Lage veranschaulichen. Denkt man sich eine Taschenuhr als Diamagneticum, an der Vorderfläche den Nordpol und an der Rückseite den Südpol eines Magnets, so giebt die Bewegung des Uhrzeigers die Richtung an, in welcher ein Lichtstrahl bei der Magnetisirung gedreht wird.

Fig. 2.



2162. Ich will nun übergehen zu den Bedingungen, welche den Bereich und die Natur dieser neuen Kraftwirkung auf das Licht beeinflussen, begrenzen und bestimmen.

2163. In erster Linie scheint die Drehung proportional zu sein der Dicke der von dem Lichtstrahl und den magnetischen Kraftlinien durchlaufenen Schicht des Diamagneticums. Ich hielt die Stärke des Magnets und den Abstand seiner Pole constant und brachte zwischen dieselben verschiedene Stücke desselben schweren Glases (2151). Je grösser die Ausdehnung des Diamagneticums in Richtung des Lichtstrahls war, es mochte nur aus einem oder aus zwei oder drei Stücken bestehen, desto grösser war die Drehung des Strahles, und soweit ich nach diesen ersten Versuchen urtheilen konnte, war die Grösse der Drehung genau proportional der Dicke der von dem Strahl durchlaufenen Schicht des Diamagneticums. Eine Vermehrung oder Verminderung des schweren Glases an der *Seite* der Bahn des Lichtstrahls hatte keinerlei Einfluss auf den Theil, welchen der Strahl durchsetzte.

2164. Mit der Intensität der magnetischen Kraftlinien *nahm* die Drehung des Lichtstrahls *zu*. Dieser Satz lässt sich bei Anwendung von Elektromagneten in der Hauptsache leicht bewahrheiten; innerhalb der Stärkegrenzen, welche ich benutzt habe, scheint die Drehung der Intensität der magnetischen Kraft direct proportional zu sein.

2165. Ausser dem schweren Glase erlangen auch andere Substanzen die Eigenschaft unter dem Einfluss der magnetischen Kraft auf das Licht zu wirken (2173). Besitzen dieselben ein eigenes Drehungsvermögen, wie beispielsweise Terpentinöl, Zucker, Weinsteinsäure, weinsteinsaure Salze u. s. w., so hat man die Wirkung der magnetischen Kraft der ihrer specifischen Kraft hinzuzufügen oder abzuziehen, je nachdem die ihnen von Natur eigene und die durch den Magnetismus bewirkte Drehung nach rechts oder nach links gerichtet ist (2231).

2166. Ich habe nicht finden können, dass diese Eigenschaft des dem gleichzeitigen Einfluss des Magnetismus und des Lichtes ausgesetzten Diamagneticums durch irgend eine Bewegung, die ich demselben zu geben vermochte, geändert wird.

2167. Die Zwischenschaltung von Kupfer, Blei, Zinn, Silber und anderen im gewöhnlichen Sinne nichtmagnetischen Körpern in den Lauf der magnetischen Curven zwischen den Pol und das Diamagneticum oder

in anderen Lagen übte auf die Erscheinungen weder der Art noch der Grösse nach irgend einen Einfluss aus.

2168. Eisen beeinflusste die Resultate oft sehr beträchtlich, aber dies schien immer entweder von einer Aenderung in der Richtung der magnetischen Kraftlinien oder von einer Vertheilung ihrer Stärke im Eisen selbst herzurühren. Waren beispielsweise zwei ungleichnamige Pole an der einen Seite des polarisirten Lichtstrahles (2150) aufgestellt und das schwere Glas in der günstigsten Lage zwischen ihnen und zum Lichtstrahl (2152), so bewirkte die Annäherung eines grossen Eisenstückes an das Glas auf der anderen Seite des Strahles eine Schwächung des Drehungsvermögens des Diamagneticums. Dies kam daher, dass gewisse magnetische Kraftlinien, die früher parallel dem Strahl durch das Glas gingen, nun das Glas und den Strahl kreuzten; denn das Eisen erhielt zwei den Magnetpolen entgegengesetzte Pole und lenkte so einen gewissen Theil der magnetischen Kraft in eine neue, den polarisirten Lichtstrahl kreuzende Bahn.

2169. Wurde das Eisen anstatt auf der Gegenseite auf derselben Seite des Glases und Magnets demselben genähert oder mit ihm in Berührung gebracht, so trat ebenfalls eine Schwächung des Drehungsvermögens des Diamagneticums ein, einfach aus dem Grunde, weil die Magnetkraft von demselben fort in eine neue Richtung gelenkt wurde. Diese Wirkungen hängen natürlich in bedeutendem Maasse von der Stärke des Magnets und von der Grösse und Weichheit des Eisens ab.

2170. Spiralen (2190) ohne Eisenkern übten eine sehr schwache, kaum merkliche Wirkung aus; mit Eisenkern wirkten sie kräftig, selbst wenn nicht mehr Elektricität durch sie hindurchging als vorher (1071). Dies zeigt in sehr einfacher Weise, dass die unter diesen Umständen auftretenden Lichterscheinungen in directem Zusammenhange stehen mit der von dem Apparat gelieferten magnetischen Kraftform. Dasselbe beweist ein anderer Vorgang. Wird die Batterie geschlossen und der Strom durch die Windungen des Elektromagnets hindurchgesandt, so tritt das durch die Drehung des polarisirten Lichtstrahles zum Vorschein kommende Bild nicht sofort in seiner vollen Helligkeit auf, sondern steigt allmählich im Laufe einiger Secunden zum Helligkeitsmaximum an; bei Unterbrechung des Stromes verschwindet es dagegen anscheinend augenblicklich ganz. Die allmähliche Zunahme der Helligkeit erklärt sich daraus, dass der Eisenkern des Elektromagnets *Zeit* braucht, um die ganze magnetische Kraft, welche der elektrische Strom in ihm erregen kann, zu entfalten, und wie der Magnetismus an Stärke zunimmt, so wächst auch seine Wirkung auf das Licht. Dies ist der Grund der Zunahme der Drehung.

2171. Bisher habe ich nicht finden können, dass das schwere Glas (2151) in diesem Zustande, d. h. wenn es von magnetischen Kraftlinien durchsetzt wird, eine specifische Magnetoinductionswirkung bekannter Art oder eine Zunahme derselben äussert. Ich habe es in beträchtlichen Quantitäten in ver-

schiedenen Lagen zwischen Magnete und Magnetnadeln gebracht, konnte aber mit meinen sehr empfindlichen Hilfsmitteln keinen Unterschied zwischen ihm und der Luft auffinden.

2172. Beim Wasser, Alkohol, Quecksilber und anderen Flüssigkeiten in sehr grossen empfindlichen thermometerförmigen Gefässen konnte ich auch keinen Volumunterschied wahrnehmen, wenn die magnetischen Curven durch sie hindurchgingen.

2173. Es ist Zeit, dass ich diese Kraftäusserung des Magnetismus auf das Licht nicht bloss im kieselborsauren Bleioxyd (2151), sondern auch in vielen anderen Substanzen in Betracht ziehe. Hier bemerken wir nun zunächst, dass, wenn alle durchsichtigen Körper diese Kraft äussern, sie dies in sehr verschiedenem Grade thun, und dass es vorläufig einige giebt, die sie gar nicht zeigen.

2174. Demnächst nehmen wir wahr, dass Körper von unter einander ausserordentlich verschiedenen chemischen, physikalischen und mechanischen Eigenschaften diese Kraft äussern; denn feste wie flüssige Körper, Säuren, Alkalien, Oele, Wasser, Alkohol, Aether, sie alle besitzen diese Kraft.

2175. Endlich bemerken wir, dass, so verschieden auch die Grösse der Wirkung ist, sie doch der Art nach in ihnen allen dieselbe ist, nämlich die Aeusserung einer den Lichtstrahl drehenden Kraft, und dass ferner die Richtung der Drehung in allen Fällen unabhängig ist von der Natur und dem Zustande der Substanz und nur abhängig, entsprechend dem oben aufgestellten Gesetze (2160), von der Richtung der magnetischen Kraftlinien.*)

2176. Ich habe bereits erwähnt, dass unter den Substanzen, bei welchen sich diese Wirkung findet, das *kieselborsaure Bleioxyd* (2151) zum Nachweis der Erscheinungen vorzüglich geeignet ist. Ich bedaure, dass dies gerade am besten ist, weil es wahrscheinlich nicht Vielen zur Verfügung steht, und nur Wenige sich die Mühe nehmen dürften, es sich herzustellen. Es muss übrigens gut gekühlt sein, da es sonst die Eigenschaft hat, das Licht in bedeutendem Maasse zu depolarisiren, und dann die in Rede stehenden Erscheinungen viel weniger auffallend zu beobachten sind. Indess besitzt das *Bleiborat*, das viel schmelzbarer ist, bei der Siedetemperatur des Oels erweicht und sich daher weit leichter in Form von Glasplatten erhalten und kühlen lässt, ein ebenso starkes magnetisches Licht-Drehungsvermögen als das Silicoborat selbst. *Flintglas* zeigt die Eigenschaft in geringerem Grade als die eben genannten Substanzen und Crownglas in noch schwächerem Maasse.

2177. Benutzte ich krystallinische Körper als Diamagnetica, so gab ich ihnen stets die Lage, in welcher sie den polarisirten Lichtstrahl nicht beeinflussten, und liess dann die magnetischen Curven sie durchsetzen. Im Allgemeinen schienen sie der Annahme eines Drehvermögens zu widerstehen.

---

*) Dies trifft bekanntlich nach den Untersuchungen von Verdet nicht zu, da z. B. viele Eisensalzlösungen entgegengesetzt drehen als die meisten übrigen Körper. D. Ü.

Steinsalz und *Flussspath* zeigten dasselbe in schwachem Grade. Ebenso schien sich mir ein Alaunkrystall zu verhalten, doch war die Strecke des Strahles in dem durchsichtigen Theile so kurz, dass ich die Thatsache nicht sicher entscheiden konnte. Zwei Exemplare von durchsichtigem Flussspath, die Tennant mir lieh, gaben eine Wirkung.

2178. *Bergkrystall* von 4 Zoll Dicke verrieth keine Wirkung auf den Strahl, ebensowenig thaten es kleine Krystalle oder Würfel von etwa dreiviertel Zoll Seite, die so geschnitten waren, dass zwei ihrer Flächen senkrecht zur Krystallaxe lagen (1692, 1693); die Würfel wurden in jeder Richtung untersucht.

2179. *Kalkspath* bot weder in Form von Rhomboedern noch in Form von Würfeln wie die eben beschriebenen (1695) Anzeichen einer Wirkung dar.

2180. Ebenso waren *Bariumsulphat, Calciumsulphat, Natriumcarbonat* ohne Wirkung auf das Licht.

2181. Mit einem schönen, klaren Stück *Eis* erhielt ich keine Wirkung. Ich kann jedoch nicht sagen, dass keine vorhanden war; denn die Wirkung derselben Masse Wasser würde sehr gering sein, und die Unregelmässigkeit der durch das Schmelzen des Eises und Abtropfen des Wassers abgeflachten Oberfläche machte die Beobachtung sehr schwierig.

2182. Mit einer gewissen Neugierde und Hoffnung zugleich brachte ich Blattgold in die magnetischen Kraftlinien, konnte jedoch keine Wirkung wahrnehmen. Es liess sich auch kaum ein positives Resultat erwarten, wenn man bedenkt, wie ausserordentlich klein die Bahnstrecke ist, welche der polarisirte Lichtstrahl darin zurücklegt.

2183. Um diese Beobachtungen an Flüssigkeiten anzustellen, verfährt man sehr zweckmässig so, dass man sie in Flaschen von $1^1/_2$ bis 3 oder 4 Zoll Durchmesser zwischen die Magnetpole bringt (2150) und das analysirende Ocular der Flasche so weit nähert, dass letztere bei gehöriger Einstellung ein entsprechend ihrer cylindrischen Gestalt diffuses aber brauchbares Bild der Flamme der dahinter aufgestellten Lampe giebt. Das Licht dieses Bildes lässt sich von dem, welches nach unregelmässiger Brechung durch die Streifen und Unregelmässigkeiten des Glases hindurchgeht, leicht unterscheiden, und man sieht leicht die darin auftretenden Erscheinungen.

2184. Wasser, Alkohol und Aether geben den Effect, und zwar Wasser am stärksten, Alkohol schon weniger und am schwächsten Aether. Desgleichen tritt die Erscheinung in allen von mir untersuchten fixen Oelen ein; dazu gehören Mandelöl, Ricinusöl, Olivenöl, Mohnöl, Leinöl, Wallrathöl, Eläin aus dem Schweineschmalz und destillirtes Harzöl, ferner die ätherischen Oele, wie Terpentinöl, Bittermandelöl, Spicaöl, Lavendelöl, Jasminöl, Nelkenöl und Lorbeeröl; auch verschiedene Arten von Naphta, geschmolzener Wallrath, geschmolzener Schwefel, Chlorschwefel, Chlorarsen und jede andere flüssige Substanz, die ich zur Hand hatte und in hinreichender Menge zum Versuche verwenden konnte.

2185. Von wässerigen Lösungen versuchte ich mehr als 150, darunter lösliche Säuren, Alkalien, Salze, sowie Zucker, Gummi u. s. w., deren Aufzählung hier zu weit führen würde, da das Hauptergebniss war, dass trotz der ausserordentlich grossen Verschiedenheit der Substanzen keine Ausnahme von dem allgemeinen Resultat stattfand, vielmehr alle die Erscheinung zeigten. Freilich ist es mehr als wahrscheinlich, dass in allen diesen Fällen das Wasser und nicht der darin gelöste Körper die wirkende Substanz war.*) Dasselbe allgemeine Resultat wurde mit alkoholischen Lösungen erhalten.

2186. Indem ich von den Flüssigkeiten zu Luft und anderen Gasen übergehe, habe ich hier zu constatiren, dass ich bisher nicht im Stande war, in irgend einer Substanz dieser Gruppe eine Aeusserung dieses Drehungsvermögens wahrzunehmen. Ich habe von Gasen Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Stickstoffoxydul, ölbildendes Gas, schweflige Säure, Salzsäure, Kohlensäure, Kohlenoxyd, Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Bromdampf bei gewöhnlicher Temperatur in Flaschen von 4 Zoll Durchmesser untersucht, aber sämmtlich mit negativem Erfolge.**) Mit Luft habe ich noch weitergehende Versuche mittelst einer anderen Apparatform angestellt, aber gleichfalls ohne Erfolg (2212).

2187. Ehe ich die Betrachtung der Substanzen, welche dieses Drehungsvermögen zeigen, verlasse, will ich noch erwähnen, dass ich von den Substanzen, welche ausser dem magnetischen schon an sich ein Drehungsvermögen besitzen (2165, 2231), folgende untersucht habe: Ricinusöl, Harzöl, Spicaöl, Lorbeeröl, Canadabalsam, alkoholische Kampherlösung, alkoholische Lösung von Kampher und Aetzsublimat, wässerige Lösungen von Zucker, Weinsteinsäure, weinsteinsaurem Natrium, Brechweinstein, Weinstein- und Borsäure und Nickelsulphat, welche das Licht rechts drehen; Copaivbalsam, welcher links dreht, und zwei Proben von Camphin oder Terpentinöl, von denen die eine rechts, die andere links drehte. In allen diesen Fällen entsprach, wie bereits gesagt (2165), die hinzutretende magnetische Drehung dem allgemeinen Gesetze (2160), unabhängig von dem der Substanz schon an sich eigenen Drehungsvermögen.

2188. Kampher, geschmolzen in einer Röhre von etwa einem Zoll Durchmesser, zeigte von Natur ein starkes Drehungsvermögen, und ich konnte nicht finden, dass die magnetischen Curven dasselbe vermehrten. Es ist jedoch möglich, dass die Kürze der Wegstrecke des Strahles und die Menge des gefärbten Lichtes, das zurückblieb, selbst wenn das Nicol'sche Prisma sich in der für die Verdunkelung des durch die natürliche Drehung des Strahles

---

*) Dass auch die gelöste Substanz selbst wirksam ist, haben spätere Untersuchungen ergeben. D. Ü.

**) Der Nachweis, dass auch die Gase eine magnetische Drehung der Polarisationsebene des Lichtes hervorbringen, ist bekanntlich erst in neuerer Zeit Becquerel sowie Kundt und Röntgen gleichzeitig gelungen. Vgl. aber auch Art. 2237. D. Ü.

zum Vorschein gebrachten Bildes günstigsten Lage befand, das geringe magnetische Drehungsvermögen des Kamphers unmerklich machten.

II. Wirkung der elektrischen Ströme auf das Licht.

2189. Eine Betrachtung der Natur und Lage der magnetischen und elektrischen Kraftlinien, sowie des Verhaltens des Magnets zum elektrischen Strome liess es mir fast gewiss erscheinen, dass ein elektrischer Strom dieselbe Wirkung auf das Licht ausüben würde wie ein Magnet, und dass man in der Spirale einen Apparat haben würde, in welchem man Diamagnetica und insbesondere solche Körper, welche zwischen den Magnetpolen nur wenig beeinflusst zu werden scheinen, von grosser Längsausdehnung der Untersuchung unterwerfen und so ihre Wirkung steigern könnte. Der Versuch hat diese Erwartung bestätigt.

2190. Von den Kupferspiralen, die ich anwandte, will ich drei beschreiben. Die erste oder *lange Spirale* hatte 0,4 Zoll inneren Durchmesser, ihr Draht von 0,03 Zoll Durchmesser war um die Axe herum erst von einem Ende der Spirale bis zum anderen gewickelt und dann ebenso zurückgeführt; die Spirale bestand somit aus einer doppelten Drahtlage von 65 Zoll Länge und enthielt 1240 Fuss Draht.

2191. Die zweite oder *mittlere Spirale* war 19 Zoll lang, von 1,87 Zoll innerem und 3 Zoll äusserem Durchmesser. Der 80 Fuss lange Draht von 0,2 Zoll Durchmesser war zu zwei concentrischen Gewinden angeordnet. Der sie durchlaufende Strom theilt sich nicht, sondern durchsetzt den Draht der ganzen Länge nach.

2192. Die dritte oder *Woolwich-Spule* war nach meiner Anweisung für Sabine's Anstalt in Woolwich angefertigt worden. Sie hat 26,5 Zoll Länge, 2,5 Zoll inneren und 4,75 Zoll äusseren Durchmesser. Der Draht hat 0,17 Zoll Durchmesser und 501 Fuss Länge. Sie ist zu vier concentrischen Spiralen angeordnet, die hinter einander verbunden sind, so dass der gesammte elektrische Strom die ganze Drahtlänge durchläuft.

2193. Die lange Spirale (2190) wirkte auf eine in geringem Abstande von ihr aufgestellte Magnetnadel sehr schwach, die mittlere Spirale (2191) wirkte stärker und die Woolwich-Spule (2192) sehr stark; in allen drei Fällen wurde dieselbe Batterie von zehn Grove'schen Elementen angewandt.

2194. Feste Körper liessen sich leicht der Wirkung dieser Spiralen unterwerfen, indem man sie in Form von Stäben oder Prismen mit flach geschliffenen Endflächen als Kerne in die Spiralen steckte. Um Flüssigkeiten der nämlichen Wirkung zu unterwerfen, versah ich Glasröhren an den Enden mit Kappen, deren cylindrischer Theil aus Messing war und zum Eingiessen der Flüssigkeit mit einem Tubulus versehen war, während die Endfläche eine flache Glasplatte bildete. Sollte die Röhre, mit wässerigen Flüssigkeiten gefüllt, gebraucht werden, so wurden die Platten an den

Kappen und diese an der Röhre mit Canadabalsam festgekittet; sollten Alkohol, Aether oder ätherische Oele zur Anwendung kommen, so diente als Kitt eine eingedickte Mischung von gepulvertem Gummi mit etwas Wasser.

2195. Das Verfahren, welches ich einschlug, um mit diesem Apparat den Effect zu erhalten, war im Allgemeinen folgendes. Die Röhre in der langen Spirale (2190) wurde mit destillirtem Wasser gefüllt und in den Weg des polarisirten Lichststrahles gebracht, so dass das Bild der Lampenflamme durch das Nicol'sche Ocular (2150) gesehen werden konnte. Dann wurde das Ocular gedreht, bis das Flammenbild verschwand, und wenn nun der Strom von zehn Plattenpaaren durch die Spirale gesandt wurde, so kam das Bild augenblicklich wieder zum Vorschein und blieb sichtbar, so lange als der Strom durch die Spirale ging; bei Unterbrechung des Stromes verschwand das Bild sofort. Die Helligkeit erreichte ihr Maximum nicht wie bei Anwendung von Elektromagneten (2170) allmählich, sondern augenblicklich. Diese Resultate liessen sich nach Belieben wiederholen. Hiernach dürfen wir wohl mit Recht sagen, dass bei diesem Versuche ein Lichtstrahl elektrisirt und die elektrischen Kräfte erleuchtet worden sind.

2196. Die Erscheinungen lassen sich noch augenfälliger machen, wenn man eine Linse von grosser Brennweite zwischen der Röhre und dem polarisirenden Spiegel, oder eine Linse von kurzer Brennweite zwischen der Röhre und dem Auge anbringt; es ist dies ein Mittel, die Wirkung zu fördern, wenn die Spirale oder die Batterie oder die dem Versuche unterworfene Substanz von geringer Wirksamkeit ist, aber bei einiger Uebung lässt es sich leicht entbehren und leistet nur gelegentlich in zweifelhaften Fällen gute Dienste.

2197. In Fällen, wo die Erscheinung schwach ist, lässt sie sich leichter wahrnehmen, wenn das Nicol'sche Ocular nicht auf völlige Auslöschung des Strahles eingestellt ist, sondern ein wenig diesseits oder jenseits dieses Punktes, so dass das Bild der Flamme eben noch sichtbar ist. Dann nimmt bei Einwirkung des elektrischen Stromes die Intensität des Lichtes entweder zu oder ab, oder es wird ausgelöscht oder kommt auch an der anderen Seite der Dunkelheitslage wieder zum Vorschein, und diese Aenderung lässt sich leichter wahrnehmen, als wenn das Auge vom Punkte völliger Dunkelheit aus zu beobachten beginnt. Diese Beobachtungsmethode gestattet auch, den rotatorischen Charakter dieser Wirkung auf das Licht nachzuweisen. Denn wenn man das Licht zuerst durch Drehung des Oculars in dem einen Sinne sichtbar macht und der Strom eine *Verstärkung* des Lichtes bewirkt, so genügt ein Augenblick nach Unterbrechung des Stromes, um das Ocular in dem anderen Sinne zu drehen, bis das Licht so hell erscheint wie zuerst, und nun wird der Strom es *schwächen*; zugleich ändern sich auch die Farben des Lichtes.

2198. Je nach der Richtung des durch die Spirale gehenden Stromes wurde der Lichtstrahl in dem einen oder anderen Sinne gedreht. Um die Richtung

näher zu bezeichnen, will ich wie üblich annehmen, dass der Strom innerhalb des Elements vom Zink durch die Säure zum Platin geht (663, 667, 1627); wenn nun der Strom unter dem Strahl nach rechts geht, an dessen rechter Seite aufsteigt und über dem Strahl nach links geht, so wird er diesen nach links drehen; geht der Strom dagegen über dem Strahl nach rechts, an der rechten Seite herab und unter dem Strahl nach links, so dreht er diesen nach rechts.

2199. Hiernach lässt sich das **Gesetz**, nach welchem ein elektrischer Strom auf einen Lichtstrahl wirkt, leicht ausdrücken. Wenn ein elektrischer Strom einen polarisirten Lichtstrahl in einer zu demselben senkrechten Ebene umkreist, so bewirkt er eine Drehung des Strahles um seine Axe im Sinne seiner *eigenen Richtung*, und zwar so lange, als der Strahl unter dem Einfluss des Stromes steht.

2200. Die Einfachheit dieses Gesetzes und dessen Identität mit dem oben für die Wirkung des Magnetismus auf das Licht aufgestellten (2160) ist wahrhaft schön. Ein Modell, um dem Gedächtniss zu Hilfe zu kommen, braucht man nicht; die rings um das früher beschriebene (2161) gezogene Linie giebt übrigens zugleich die Richtung des Stromes und der Drehung an. Ja, es leistet noch mehr; denn wenn man sich den Cylinder nicht aus Glas oder einem anderen Diamagneticum, sondern aus Eisen bestehend zwischen den Polen N und S denkt, so stellt die Linie rings um ihn die Richtung der Ströme dar, welche nach Ampère's Theorie seine Theilchen umkreisen; oder wenn man ihn sich als einen Eisenkern (statt eines Kernes von Wasser) denkt und rings um ihn einen Strom in Richtung der Linie kreisend denkt, so stellt er auch einen Magnet vor, wie er zwischen den Polen entstehen würde mit der an den Enden bezeichneten Polarität.

2201. Ich will nun Einiges über den Grad dieser Wirkung unter verschiedenen Umständen angeben. Bei Anwendung einer Wasserröhre (2194) von der Länge der Spirale, die jedoch so gestellt war, dass ein grösseres oder kleineres Stück an dem einen oder anderen Ende der Spirale herausragte, war ich im Stande, bis zu einem gewissen Grade den Einfluss der Länge des Diamagneticums bei derselben Spirale und gleichbleibender Stromstärke zu ermitteln. Je länger die der Wirkung der Spirale unterworfene Wassersäule war, desto stärker wurde der polarisirte Lichtstrahl gedreht, und zwar schien mir die Grösse der Drehung direct proportional zu sein der Länge der Flüssigkeitssäule, welche der elektrische Strom umkreiste.

2202. Eine kurze Röhre mit Wasser oder ein Stück schweren Glases in der Axe der Woolwich-Spule (2192) schien gleiche Wirkung auf den Lichtstrahl zu üben, ob sie sich in der Mitte oder am Ende der Spirale befanden, vorausgesetzt, dass sie innerhalb der Spirale und in deren Axe lagen. Hieraus geht hervor, dass jeder Theil der Spirale gleiche Wirkung hat, und dass man bei Anwendung langer Spiralen dieser Untersuchung

Substanzen unterwerfen kann, die sich nicht in hinreichender Länge zwischen die Pole von Magneten bringen lassen (2150).

2203. Eine Röhre mit Wasser von der Länge der Woolwich-Spule (2192) aber von nur 0,4 Zoll Durchmesser wurde bald parallel der Axe, bald in der Axe, bald nahe der Seite der Spirale in diese gebracht, ohne dass sich in diesen Lagen ein Unterschied zeigte, und ich bin geneigt zu glauben (ohne dessen ganz sicher zu sein), dass die Wirkung auf den Strahl sich gleich bleibt, in welcher Lage die Röhre sich auch relativ zur Axe innerhalb der Spirale befindet. Dasselbe Resultat erhielt ich auch mit einer weiteren Wasserröhre, durch die ich hindurchblickte; es war gleichgültig, ob der Strahl durch die Axe der Spirale und Röhre oder nahe ihrer Seite hindurchging.

2204. Bringt man in die Spirale Substanzen, die schon an sich ein Drehungsvermögen besitzen, so combinirt sich mit diesem das ihnen durch den elektrischen Strom ertheilte Drehungsvermögen, ganz so wie in den bereits erwähnten Fällen der magnetischen Wirkung (2165, 2187).

2205. Eine 20 Zoll lange Spirale von 0,3 Zoll Durchmesser aus engen Windungen unbesponnenen Kupferdrahtes von 0,05 Zoll Durchmesser wurde in eine weite Röhre mit Wasser gelegt, so dass die Flüssigkeit sowohl innerhalb als auch ausserhalb der Spirale mittelst des polarisirten Lichtstrahles untersucht werden konnte. Wurde nun der Strom *durch* die Spirale gesandt, so nahm die Flüssigkeit innerhalb der Spirale ein Drehungsvermögen an, während sich an der Aussenseite derselben, selbst ganz dicht an dem blanken Kupferdraht keine Spur einer solchen Wirkung auf das Licht zeigte.

2206. Hieran wurde auch nichts geändert, wenn das Wasser in Messing- oder Kupferröhren eingeschlossen war.

2207. Wurde die mit Wasser gefüllte Messingröhre, von einer *eisernen* Röhre umgeben, die viel länger war als die Woolwich-Spule und die Messingröhre und ein achtel Zoll Wanddicke hatte, in die Woolwich-Spule (2192) gelegt, so drehte das Wasser den Lichtstrahl anscheinend ebenso gut als früher.

2208. Die Wirkung des Wassers auf das Licht blieb sich auch dann gleich, als die enge Röhre (2203) in der Spirale auf einen Eisenstab gelegt wurde, der einen Quadratzoll Querschnitt hatte und länger war als die Spirale.

2209. Ich nahm drei Eisenröhren von je 27 Zoll Länge und $^1/_8$ Zoll Wanddicke, die leicht in einander und zusammen in die Woolwich-Spirale (2192) gesteckt werden konnten, verschloss die engste, mit Wasser gefüllt, an dem Ende mit Glas und legte sie in die Axe der Woolwich-Spule. Der polarisirte Lichtstrahl wurde dann um einen bestimmten Betrag gedreht. Wurde nun die zweite Röhre über jene geschoben, so dass sich also zwischen dem Wasser und der Spirale eine zwei achtel Zoll dicke Eisenmasse befand,

so war das Drehungsvermögen *stärker* als vorher; wurde die dritte Röhre über die beiden anderen geschoben, so war das Drehungsvermögen des Wassers *schwächer*, aber immer noch sehr beträchtlich. Diese Resultate sind complicirt, indem sie von der neuen Bedingung abhängen, welche die Eigenschaft des Eisens für die Kräfte herstellt. Bis zu einer gewissen Grenze bringt, bei erhöhter Entfaltung der magnetischen Kräfte, die Spirale und ihr Kern *zusammen* eine stärkere Wirkung auf das Wasser hervor; fügt man aber noch mehr Eisen hinzu, so wird, vermöge der Vertheilung der Kräfte in ihm, die Wirkung derselben theilweise von dem Wasser abgelenkt und somit die Drehung verringert.

2210. Ganz ähnlich waren die Erscheinungen, wenn Stücke schweren Glases (2151) in die Eisenröhren innerhalb der Spiralen gelegt wurden.

2211. In der eben beschriebenen Weise habe ich folgende Substanzen innerhalb einer Spirale der Wirkung eines elektrischen Stromes unterworfen: Schweres Glas (2151, 2176), Wasser, Lösungen von Natriumsulphat und Weinsteinsäure, Alkohol, Aether und Terpentinöl; sie alle wurden afficirt und wirkten auf das Licht genau so wie oben unter Einfluss magnetischer Kräfte (2173).

2212. Mit Sorgfalt und voll Spannung unterwarf ich *Luft* dem Einfluss dieser Spiralen, konnte aber keine Spur einer Wirkung auf den polarisirten Lichtstrahl wahrnehmen. Ich schob die lange Spirale (2190) in die beiden anderen (2191, 2192) und verband sie alle hinter einander, um die Kraft zu verstärken, ohne eine Wirkung auf das durch Luft gehende Licht wahrnehmen zu können.

2213. Bei Anwendung von Spiralen muss man auf einen Umstand Acht haben, der sonst zu Verwirrung und Störung Anlass geben kann. Ich hatte anfangs den Draht der langen Spirale (2190) unmittelbar um die zur Aufnahme der Flüssigkeit dienende dünne Glasröhren gewickelt. Wenn nun der elektrische Strom durch die Spirale ging, so erwärmte sich dieselbe, erhöhte allmählich die Temperatur des Glases und der mit diesem in Berührung befindlichen Flüssigkeitsschicht, und in Folge dessen wirkte der Wassercylinder, der an seiner Oberfläche wärmer geworden war als in seiner Axe, als Linse, sammelte Lichtstrahlen und sandte sie in's Auge, noch eine Zeit lang nach Unterbrechung des Stromes. Diese Fehlerquelle lässt sich durch Trennung der Wasserröhre von der Spirale und durch andere Vorsichtsmassregeln leicht beseitigen.

2214. Ein anderer Umstand, den der Experimentator kennen muss, ist der, dass es schwierig, ja fast unmöglich ist, ein Stück Glas zu erhalten, welches, namentlich nachdem es zerschnitten worden, das Licht nicht depolarisirte. Wenn es aber depolarisirt, so bringt eine Verschiedenheit der Lage einen ungeheuren Unterschied in der Erscheinung hervor. Diese Schwierigkeit lässt sich dadurch mehr oder weniger überwinden, dass man

stets die nicht depolarisirenden Theile, also etwa das schwarze Kreuz beachtet und das Auge dem Glase so nahe als möglich bringt.

2215. Um eine allgemeine Angabe über die Grösse dieses Drehungsvermögens in einigen Körpern zu machen, will ich, ohne den Anspruch auf Genauigkeit meiner Zahlen zu erheben, das Resultat einiger Versuche zur Messung der Kraft mittheilen, indem ich sie mit dem natürlichen Drehungsvermögen einer Probe von Terpentinöl vergleiche. Ich wandte einen sehr kräftigen Elektromagnet an, dessen Pole einen *constanten* Abstand von $2^1/_2$ Zoll von einander hatten. In diesen Zwischenraum brachte ich verschiedene Substanzen, beobachtete mehrmals die Grösse der Drehung, welche dem Nicol'schen Ocular gegeben werden musste, und nahm das Mittel daraus, welches somit die Drehung des Lichtstrahles auf der die Substanz durchsetzenden Strecke darstellt. Da die Substanzen jedoch eine verschiedene Ausdehnung hatten, so reducirte ich durch Rechnung die Weglängen des Strahles auf eine Normallänge, indem ich voraussetzte, dass das Drehungsvermögen dieser Länge proportional sei (2163). Das Terpentinöl wurde natürlich in seinem natürlichen Zustand, d. h. unbeeinflusst von magnetischer Wirkung beobachtet. Wasser als Einheit genommen, ergeben sich folgende Zahlen:

Terpentinöl	11,8
Schweres Glas (2151) .	6,0
Flintglas	2,8
Steinsalz	2,2
Wasser	1,0
Alkohol	kleiner als Wasser
Aether	kleiner als Alkohol.

2216. In Betreff der Wirkung magnetischer und elektrischer Wirkungen auf das Licht glaube ich, dass die Kenntniss der Bedingungen, unter denen keine wahrnehmbare Wirkung auftritt, unsere Kenntniss von den Beziehungen derselben zu einander zu erweitern geeignet ist, und ich will daher ganz kurz angeben, wie ich neuerdings diese Kräfte combinirt habe, ohne ein wahrnehmbares Resultat zu erhalten (955).

2217. Ich sandte durch schweres Glas, Flintglas, Bergkrystall, Isländischen Kalkspath, Terpentinöl und Luft einen polarisirten Lichtstrahl und leitete gleichzeitig mittelst der Belegungen einer Leydener Flasche und einer Elektrisirmaschine Linien elektrischer Spannung (2149) durch diese Körper parallel und rechtwinkelig zum polarisirten Lichtstrahl, sowohl in als auch quer zu der Polarisationsebene, jedoch ohne sichtbaren Effect. Auch die auf diese Körper und auf Wasser (also einen Elektrolyt) gerichtete Spannung eines

im raschen Wechsel inducirten secundären Stromes hatte das gleiche negative Resultat.

2218. Ein polarisirter Lichtstrahl, magnetische Kraftlinien von grosser Intensität und elektrische Kraftlinien (2149) der eben beschriebenen Art wurden gleichzeitig in verschiedenen Wirkungsrichtungen durch schweres Glas (2151, 2176) gesandt, jedoch mit keinem anderen Erfolge als dem bereits in dieser Abhandlung beschriebenen, den die Wirkung der magnetischen Kraftlinien und das Licht auf einander hat.*)

2219. Ich combinirte ferner einen polarisirten Lichtstrahl und elektrische Ströme auf jede mögliche Weise in Elektrolyten (951—954), als welche ich destillirtes Wasser, Zuckerlösung, verdünnte Schwefelsäure, Natriumsulphatlösung zwischen Platinelektroden und Kupfersulphatlösung zwischen Kupferelektroden anwandte. Den Strom leitete ich dem Strahl parallel und in zwei anderen, zu diesem und zu einander senkrechten Richtungen hindurch; der Strahl wurde gedreht, indem man die Lage des polarisirenden Spiegels drehte, um die Polarisationsebene zu ändern, und der Strom war bald ein continuirlicher, bald ein rasch intermittirender, bald ein durch Induction in rascher Folge erzeugter Wechselstrom. Aber in keinem Falle war eine Spur von Wirkung wahrzunehmen.

2220. Schliesslich leitete ich einen polarisirten Lichtstrahl, elektrische Ströme und magnetische Kraftlinien auf alle mögliche Weise durch verdünnte Schwefelsäure und Natriumsulphatlösung, aber gleichfalls mit negativem Erfolge, ausgenommen in den Lagen, in denen die schon beschriebenen Erscheinungen auftraten. Bei einer Versuchsanordnung ging der Strom in radialer Richtung von einer centralen zu einer peripherischen Elektrode, während die ungleichnamigen Magnetpole darüber und darunter angebracht waren; die Anordnung war so gut, dass die Flüssigkeit beim Durchgang eines Stromes rasch rotirte, allein ein in horizontaler Richtung quer durch diese Vorrichtung gesandter Lichtstrahl wurde durchaus nicht afficirt. Auch wenn der Lichtstrahl in verticaler Richtung hindurchgesandt, und das Nicol'sche Ocular so gedreht ward, wie es der dem Strahl in dieser Lage von den magnetischen Curven ertheilten Drehung entsprach, und man nun auch den elektrischen Strom hindurchgehen liess, so erfuhr die Wirkung auf den Strahl nicht die geringste Aenderung.

---

*) Der Text, but with no other result than that due to the *mutual* action *of the magnetic lines of light,* already described in this paper, bietet hier einige Schwierigkeit. Es liegt nahe das letztere *of* für einen Druckfehler statt *on* zu nehmen, da *magnetische Lichtlinien* in dem vorliegenden Zusammenhang kaum einen Sinn haben. Aber es bleibt die Schwierigkeit des Wortes *mutual* bestehen, da von einer *gegenseitigen* Wirkung zwischen Magnetismus und Licht nicht die Rede war. D. Ü.

III. Allgemeine Betrachtungen.

2221. So ist denn, wie ich glaube, zum ersten Male[1]), eine wahrhafte, unmittelbare Beziehung und Abhängigkeit zwischen dem Licht und den magnetischen und elektrischen Kräften festgestellt, und somit haben die Thatsachen und Betrachtungen, welche zu beweisen scheinen, dass alle Naturkräfte ein Band umschliesst und alle einen gemeinsamen Ursprung haben (2146), einen mächtigen Zuwachs erhalten. Es ist ohne Zweifel bei dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens schwierig, unserer Vermuthung einen genauen Ausdruck zu geben; ich habe zwar gesagt, dass eine der Naturkräfte bei diesen Versuchen in unmittelbarer Beziehung zu den übrigen steht, allein ich hätte am Ende lieber sagen sollen, dass eine Form der Allkraft in bestimmter und unmittelbarer Beziehung zu den übrigen Formen steht, oder dass die Allkraft, welche sich in verschiedenen besonderen Formen durch besondere Erscheinungen offenbart, hier durch die unmittelbare Beziehung ihrer als Licht auftretenden Form zu ihren als Elektricität und Magnetismus sich manifestirenden Formen von Neuem identificirt und wiedererkannt wird.

2222. Dass Magnetismus und Elektricität zu *polarisirtem* Licht in Beziehung stehen, hat sogar noch grösseres Interesse als eine ausschliessliche Beziehung zu gewöhnlichem Licht gehabt haben würde. Dieselbe muss sich auch auf gewöhnliches Licht erstrecken, und da sie dem Lichte angehört, dessen Verhalten und Eigenschaften durch Polarisation in gewisser Hinsicht greifbarer gemacht sind, so setzt sie es in Zusammenhang und verknüpft es mit diesen Kräften in der ihnen eigenen Dualität und eröffnet uns so einen früher nicht gekannten Weg, diese Kräfte zur Erforschung der Natur dieses und anderer strahlenden Agentien anzuwenden.

2223. Mit Bezug auf die obigen Definitionen (2149) darf ich ferner

---

[1]) Ich sage, zum ersten Male, weil ich nicht glaube, dass Morichini's Versuche, durch die Strahlen des violetten Endes des Spectrums Magnetismus zu erregen, eine solche Beziehung beweisen. Als ich im Mai 1814 mit Sir H. Davy in Rom war, experimentirte ich bei Morichini mehrere Stunden mit seinem Apparat und unter seiner Anleitung, aber es gelang mir nicht, eine Nadel zu magnetisiren. Ich bin von einer derartigen *directen* Wirkung der Sonnenstrahlen nicht überzeugt, glaube vielmehr, dass, wenn eine Wirkung überhaupt erhalten wurde, es eine secundäre, nebensächliche und vielleicht gar zufällige Erscheinung gewesen sei, wie sie wohl erfolgen könnte, wenn eine Nadel während des ganzen Versuches in der Nord-Süd-Lage gehalten würde.

2. *Januar* 1846. Ich würde nicht, wie oben, „zum ersten Male“ geschrieben haben, wenn ich mich der in den *Philosophical Transactions* für 1826, p. 219, und 1828, p. 379 mitgetheilten Versuche und Aufsätze Christie's über den Einfluss der Sonnenstrahlen auf Magnete erinnert hätte. — M. F. [Faraday hätte diese Bemerkung sicherlich nicht gemacht, wenn er die Arbeit von Riess und Moser, die das Irrige dieser Versuche darthut, gekannt hätte. Pogg. Ann, 1829, XVI, 563. D. Ü.]

sagen, dass es *nur* die magnetischen Kraftlinien sind, welche auf die Lichtstrahlen wirken, und zwar (augenscheinlich) *nur* dann, wenn sie dem Lichtstrahl parallel sind oder sich dem Parallelismus mit ihm nähern. Wie die elektrischen Kräfte in den Erscheinungen der elektrischen Induction und Elektrolyse bei Körpern, die nicht nach Art des Eisens magnetisch sind, die magnetischen Kräfte an Energie weit übertreffen, so zeigt sich hier in einer anderen Richtung, in den besonderen und correspondirenden, den magnetischen Kräften angehörigen Erscheinungen, dass diese umgekehrt jenen weit überlegen sind und eine vollständig äquivalente Wirkung auf Substanzen derselben Art haben.

2224. Die magnetischen Kräfte wirken auf den Lichtstrahl nicht unmittelbar und ohne Dazwischenkunft von Materie, sondern durch Vermittelung der Substanz, in welcher sie und der Lichtstrahl gleichzeitig existiren; die Substanzen und die Kräfte verleihen einander und empfangen von einander das Vermögen, auf das Licht zu wirken. Dies ergiebt sich daraus, dass die Wirkung im Vacuum, in Luft oder Gasen nicht eintritt*), und dass die Grösse der Drehung für die verschiedenen Körper verschieden ist. Der Umstand, dass die Wirkung der magnetischen Kräfte auf den Lichtstrahl stets von derselben Art ist und in demselben Sinne erfolgt, unabhängig von der Verschiedenartigkeit der Substanz**), von ihrem festen oder flüssigen Aggregatzustand und ihrem specifischen Drehungsvermögen (2232), zeigt, dass die magnetische Kraft und das Licht in directer Beziehung zu einander stehen, während andererseits der Umstand, dass Substanzen hierzu nothwendig sind, und dass ihre Wirkung von verschiedener Grösse ist, zeigt, dass Magnetismus und Licht durch das Medium der Substanz auf einander wirken.

2225. Da wir die *Materie* nur durch ihre Eigenschaften erkennen oder wahrnehmen, aber von einem Kern, den wir uns in Folge einer Abstraction von diesen Eigenschaften denken, nichts wissen, so bestärken mich die hier beschriebenen Erscheinungen sehr in meinem Vertrauen zu den Ansichten, welche ich bei einer früheren Gelegenheit über die Natur der Materie ausgesprochen habe.[1])

2226. Es unterliegt keinem Zweifel, dass die magnetischen Kräfte auf die innere Constitution des Diamagneticums ganz ebenso frei im Dunkeln wirken und sie afficiren, wie beim Durchgang eines Lichtstrahles, obwohl die am Licht hervorgebrachten Phänomene bisher die einzigen Mittel zu bieten scheinen, diese Constitution und deren Aenderung zu beobachten. Eine derartige Aenderung müssen aber auch die undurchsichtigen Körper, wie Holz, Stein, Metall, erleiden, denn als Diamagnetica besteht zwischen ihnen und den durchsichtigen Körpern kein Unterschied. Allenfalls kann der

---

*) Siehe oben Anmerkung zu Art. 2186. D. Ü.
**) Siehe oben Anmerkung zu Art. 2175. D. Ü.
[1]) Vol. II, p. 255, oder Philosophical Magazine, 1844, vol. XXIV, p. 136.

Grad der Durchsichtigkeit in dieser Beziehung einen Unterschied zur Folge haben zwischen den einzelnen Körpern einer Klasse.

2227. Wenn die magnetischen Kräfte diese Körper zu Magneten machten, so würden wir mittelst des Lichtes einen durchsichtigen Magnet untersuchen können, was uns von grossem Nutzen für die Erforschung der Kräfte der Materie sein würde. Allein sie werden nicht zu Magneten (2171), und daher muss die Molecularconstitution dieser Körper in dem beschriebenen Zustande specifisch verschieden sein von der des magnetisirten Eisens oder diesem ähnlicher Substanzen und einen *neuen magnetischen Zustand* darstellen; und da derselbe ein Spannungszustand ist (was sich dadurch manifestirt, dass, sobald die magnetische Induction aufhört, augenblicklich die Rückkehr in den normalen Zustand erfolgt), so müssen wir die *Kraft*, welche die Materie in diesem Zustande besitzt, und ihre Wirkungsweise für eine *neue magnetische Kraft* oder *Wirkungsweise* der Materie ansehen.

2228. Denn es ist, glaube ich, unmöglich, wenn man die Wirkung der magnetischen Kräfte auf ein Stück schweres Glas oder eine Röhre mit Wasser beobachtet und an Intensität wachsen sieht, nicht zugleich einzuräumen, dass die Substanz Eigenschaften erlangt, welche nicht allein *neu* für sie, sondern auch ganz bestimmten und präcisen Gesetzen unterworfen sind (2160, 2199) und in einem festen Verhältniss zu den sie hervorrufenden magnetischen Kräften stehen.

2229. Vielleicht ist dieser Zustand der einer *elektrischen Spannung, die in Strom überzugehen strebt*, wie der Zustand in Magneten, nach Ampère's Theorie, der eines *Stromes* ist. Wenn ein Eisenkern in eine Stromspirale gelegt wird, so haben wir allen Grund zu glauben, dass in demselben elektrische Ströme erregt werden, die in einer zur Axe der Spirale senkrechten Ebene circuliren. Wird ein Diamagneticum in dieselbe Lage gebracht, so erlangt es das Vermögen, das Licht in derselben Ebene zu drehen. Der Zustand, den ersteres hiermit angenommen hat, ist ein Spannungszustand, der jedoch nicht in Strom übergegangen ist, obschon die wirkende Kraft und alle sonstigen Umstände und Bedingungen dieselben sind wie die, welche in Eisen, Nickel, Cobalt und anderen hierzu geeigneten Substanzen Ströme erregen. Daher ist die Idee, dass unter diesen Umständen in Diamagneticis eine Tendenz zu Strömen besteht, mit allen bisher beschriebenen Erscheinungen verträglich und sie findet eine Bekräftigung in der Thatsache, dass eine blosse Aenderung der Temperatur das Eisen, Nickel oder Cobalt, welche durch Induction eines Magnets oder eines elektrischen Stromes magnetisch werden, auch wenn man diese völlig ungeändert lässt, der ihnen eigenthümlichen magnetischen Eigenschaft beraubt und sie somit in die allgemeine Klasse der Diamagnetica überführt.

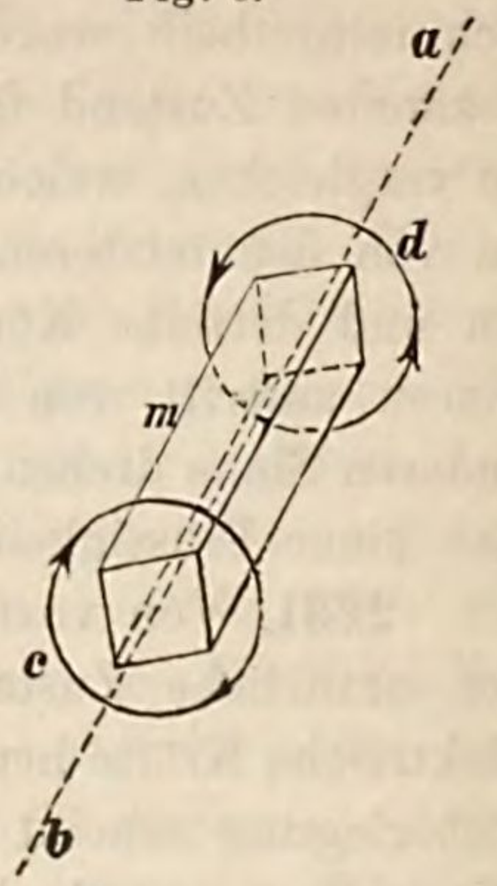
2230. Es ist, glaube ich, hier das erste Mal, dass einem Körper der zur Erzeugung der Circularpolarisation nothwendige Molecularzustand künstlich mitgetheilt worden ist, und es ist daher von grossem Interesse, diesen bekannten Zustand des Körpers mit dem relativ unbekannten der Körper zu vergleichen, welche von Natur ein Drehungsvermögen besitzen, besonders da von den letzteren die einen rechts, die anderen links drehen, ja da sogar ein und derselbe Körper in verschiedenen, aber chemisch identischen Exemplaren auftritt, von denen die einen in dem einen, die anderen in dem anderen Sinne drehen, wie es beispielsweise beim Quarz und beim Terpentinöl, also einer Flüssigkeit mit frei beweglichen Theilchen der Fall ist.

2231. Von vornherein möchte man zu dem Schluss geneigt sein, dass der natürliche Zustand identisch sei mit dem, welchen magnetische und elektrische Kräfte herbeiführen, da der Effect derselbe ist; allein bei weiterer Ueberlegung scheint ein solcher Schluss grosse Schwierigkeiten darzubieten. Wenn Terpentinöl einen Lichtstrahl dreht, so hängt dieses Vermögen von seinen Theilchen und nicht von der Anordnung seiner Masse ab. Der Lichtstrahl wird stets in derselben Weise gedreht, auf welchem Wege er auch durch die Flüssigkeit geht, und Strahlen, welche *gleichzeitig* in allen möglichen Richtungen durch dieselbe gehen, werden alle mit gleicher Kraft und nach einem gemeinsamen Richtungsgesetz gedreht, nämlich entweder alle rechts oder alle links. Anders aber ist es mit dem Drehungsvermögen *desselben* Terpentinöls, welches unter dem Einfluss magnetischer oder elektrischer Kräfte hinzutritt; dieses existirt nur in einer einzigen Richtung, nämlich in einer zu den magnetischen Kraftlinien senkrechten Ebene, und da es auf diese Ebene beschränkt ist, so kann seine Richtung durch Umkehrung der Richtung der erregenden Kraft geändert werden. Die Richtung der durch den natürlichen Zustand hervorgebrachten Drehung steht in unveränderlicher Abhängigkeit von der Richtung des Lichtstrahles, aber das Drehungsvermögen selbst scheint den Flüssigkeitstheilchen in allen Richtungen und zu allen Zeiten eigen zu sein; die Richtung der durch den inducirten Zustand hervorgerufenen Drehung ist unveränderlich abhängig von der Richtung der magnetischen Kraftlinie oder des elektrischen Stromes, und dieser zwar den Substanztheilchen eigene Zustand ist doch streng begrenzt durch jene Linie oder den Strom, mit denen er sich ändert und verschwindet.

2232. Es sei m in Fig. 3 eine Glaszelle mit rechtsdrehendem Terpentinöl und ab ein polarisirter Lichtstrahl. Geht der Strahl von a nach b, und befindet sich das Auge des Beobachters bei b, so wird die Drehung zur Rechten erfolgen, also in Richtung der Pfeile des Kreises c; geht der Strahl von b nach a, so wird *für den Beobachter*, der sich nun in a befinde, die Drehung auch jetzt nach rechts erfolgen, d. h. in der auf dem Kreise d angedeuteten Richtung. Nun lasse man einen elektrischen Strom in der an dem Kreise c angedeuteten Richtung um das Terpentinöl gehen, oder stelle Magnetpole so, dass sie einen dem Strome gleichen Effect geben (2155);

die Theilchen werden dadurch ein weiteres Drehungsvermögen (welches durch keine Bewegung in ihnen selbst gestört wird) erhalten, und ein in *b* befindliches Auge wird einen von *a* nach *b* gehenden Lichtstrahl stärker rechts, also stärker in Richtung des Kreises *c* gedreht sehen als vorher. Geht aber der Strahl von *b* nach *a*, so wird ein Beobachter in *a* die Erscheinung nun anders sehen als vorher; denn die neue Drehung erfolgt nun nicht in der an dem Kreise *d* angedeuteten Richtung, sondern in der entgegengesetzten Richtung, also zur Linken des Beobachters (2199). Die inducirte Drehung wird sich also der natürlichen addiren hinsichtlich eines von *a* nach *b* gehenden Strahles, sich dagegen von dieser subtrahiren hinsichtlich eines von *b* nach *a* gehenden Strahles. Folglich können die Theilchen dieser Flüssigkeit, welche vermöge ihrer natürlichen Kraft drehen, nicht in demselben Zustande sein wie diejenigen, welche vermöge der inducirten Kraft drehen.

Fig. 3.



2233. Was nun das Drehungsvermögen des Terpentinöls betrifft, das sich äussert, in welcher Richtung auch der Strahl durch die Flüssigkeit hindurchgeht, so ist es wohl möglich, dass zwar alle Theilchen die Fähigkeit besitzen, das Licht zu drehen, dass aber nur diejenigen, deren Drehungsebenen mehr oder weniger senkrecht zum Strahle sind, ihn afficiren, und dass es die Resultante oder Summe der Kräfte ist, deren Wirkung in irgend einer Richtung bei der Drehung zur Geltung gelangt. Aber selbst dann bleibt ein auffallender Unterschied übrig, weil die Richtung der Resultirenden in einer und derselben Ebene keine absolute, sondern eine zur Bahn des Lichtstrahles relative ist, da sie ja in dem einen Falle wie der Kreis *c*, in dem anderen wie der Kreis *d*, Fig. 3, gerichtet ist, wogegen die Resultirende der magnetischen und elektrischen Erregung absolut ist und sich nicht mit der Bahnrichtung des Strahles ändert, sondern immer entweder im Sinne von *c* oder im Sinne von *d* wirkt.

2234. Alle diese Verschiedenheiten werden jedoch bei Fortführung dieser Untersuchungen zweifellos verschwinden oder mit einander in Einklang zu bringen sein; und gerade ihr Vorhandensein eröffnet uns so viele Wege, auf denen wir immer tiefer und tiefer in die Erforschung der Kräfte und der Constitution der Materie eindringen können.

2235. Körper, die schon an sich ein Drehungsvermögen besitzen, scheinen dadurch kein grösseres oder geringeres Bestreben zu haben, ein weiteres Drehungsvermögen unter dem Einfluss magnetischer oder elektrischer Kräfte anzunehmen.

2236. Wären nicht diese und andere Unterschiede da, so würde man eine Analogie sehen können, einerseits zwischen den Körpern, welche immer

ein Drehungsvermögen besitzen, wie z. B. Quarz, der nur in einer Ebene dreht, und denjenigen, welchen dieses Vermögen unter dem Einfluss anderer Kräfte ertheilt wird, wie ein Prisma von schwerem Glase in einer von einem Strome durchflossenen Spirale, und andererseits zwischen einem natürlichen Magnet und einer Spirale, durch welche ein Strom geht. Der natürliche Zustand des Magnets und Quarzes und der Zwangszustand der Spirale und des schweren Glases bilden nach der einen Richtung hin das Bindeglied für die Analogie, während die Annahme von Strömen im Magnet wie in der Spirale und die Annahme einer blossen Spannung oder einer Tendenz zu Strömen im Quarz und schweren Glase das Bindeglied nach der anderen Richtung hin liefern würde.

2237. Was die Körper betrifft, an denen bisher diese Einwirkung auf das Licht noch nicht hat wahrgenommen werden können, die daher auch keine Anzeichen einer Annahme dieser neuen magnetischen Zustände liefern, so kann man dieselben in zwei Klassen eintheilen, zu deren einer Luft, Gase und Dämpfe, zu deren anderer Bergkrystall, Kalkspath und gewisse andere krystallisirte Körper gehören. Für diese letztere Gruppe werde ich in der nächsten Reihe dieser Untersuchungen Beweise liefern, die aus Erscheinungen ganz anderer Art hergeleitet sind, dass sie den neuen magnetischen Zustand annehmen. Unter diesen Umständen bin ich im Augenblick geneigt zu glauben, dass auch Luft und Gase den eigenthümlichen Zustand anzunehmen und das Licht zu afficiren vermögen, aber in so geringem Grade, dass es bisher noch nicht wahrgenommen werden konnte. Indess stellt der Gaszustand eine so merkwürdige Constitution der Materie dar, dass wir nicht zu vorschnell annehmen dürfen, dass Substanzen Eigenschaften selbst von allgemeinem Charakter, die sie im festen und flüssigen Zustande besitzen, immer auch in den gasigen mit hinübernehmen.

2238. Steinsalz, Flussspath und, wie ich glaube, Alaun afficiren den Lichtstrahl, die übrigen von mir untersuchten Krystalle thuen es nicht; die ersteren sind gleichaxig und einfach brechend, die letzteren sind ungleichaxig und doppeltbrechend. Vielleicht deuten gar diese Fälle im Verein mit der Drehung des Quarzes auf eine Beziehung zwischen Magnetismus, Elektricität und den Krystallisationskräften der Materie hin.

2239. Alle Körper werden sowohl durch Strom führende Spiralen als auch durch Magnete afficirt, und zwar nach Gesetzen, welche zeigen, dass sowohl die Ursachen als auch die Wirkungen identisch sind. Hierin liegt übrigens auch ein schöner Beweis für die Identität von Solenoiden und Magneten nach Ampère's Vorstellungen.

2240. Die Theorie der statischen Induction, welche ich früher aufzustellen wagte (1161 etc.), und nach welcher diese von der Wirkung der an einander stossenden Theilchen des zwischen den inducirenden und inducirten Körpern liegenden Dielektricums abhängt, liess mich erwarten, dass auch bei den magnetischen Wirkungen sich eine derartige Abhängigkeit

von den intervenirenden Theilchen würde auffinden lassen, und ich veröffentlichte vor sieben Jahren einige Versuche und Betrachtungen über diese Frage (1709—1736). Damals konnte ich keinen besonderen Zustand der Zwischensubstanz oder des Diamagneticums entdecken; aber nun, nachdem es mir gelungen ist, einen solchen Zustand nachzuweisen, welcher nicht bloss ein Spannungszustand (2227) ist, sondern auch gänzlich von den die Substanz durchsetzenden magnetischen Kraftlinien abhängt, bin ich mehr als je ermuthigt, an die Richtigkeit der damals ausgesprochenen Ansicht zu glauben.

2241. Obschon die magnetischen und elektrischen Kräfte auf einen gewöhnlichen oder unpolarisirten Lichtstrahl keine Kraft auszuüben *scheinen*, so dürfen wir doch kaum zweifeln, dass sie einen speciellen Einfluss haben, der sich wahrscheinlich bald durch Versuche wird offenbar machen lassen. Auch kann man nicht umhin, anzunehmen, dass eine Wirkung derselben Art auf die anderen Formen strahlender Agentien, wie Wärme und chemische Kraft, stattfinden müsse.*)

2242. Diese Art der magnetischen und elektrischen Wirkung und die hiervon bedingten Erscheinungen werden, hoffe ich, künftig für die Erforschung der Natur der durchsichtigen Körper, des Lichtes, der Magnete und deren Wirkung auf einander und auf magnetische Substanzen sehr dienlich sein. Ich bin gegenwärtig mit der Untersuchung des neuen Zustandes der Materie beschäftigt und werde der Royal Society bald einen weiteren Bericht darüber vorlegen. Welche Wirkung die Kraft möglicherweise in der Erde als Ganzes oder in Magneten oder in Beziehung zur Sonne habe, und welches die besten Mittel sein mögen, um das Licht dahin zu bringen, Elektricität und Magnetismus zu entwickeln, sind Fragen, die meinen Geist unablässig beschäftigen; doch es wird besser sein, Zeit und Denken, unterstützt durch das Experiment, auf die Erforschung und Enthüllung reeller Wahrheiten, als zur Aufsuchung von Vermuthungen zu verwenden, welche vielleicht, vielleicht aber auch nicht auf Thatsachen gegründet oder mit ihnen verträglich sein können.

Royal Institution,
29. Oct. 1845.

---

*) Faraday's Voraussicht, dass der Magnetismus auch auf strahlende Wärme einen Einfluss üben müsse, ist bereits 1846 bestätigt worden (Cf. Wiedemann, Elektricität III, 949). Die Beziehung des Magnetismus zu den chemischen Verwandtschaftskräften war in neuerer Zeit vielfach Gegenstand der Untersuchung und scheint zuerst von Ira Remsen dargethan worden zu sein. D. Ü.

ZWANZIGSTE REIHE.[1])

§ 27. Ueber neue magnetische Wirkungen und über den magnetischen Zustand aller Materie.[2]) *I. Der Apparat. II. Wirkung von Magneten auf schweres Glas. III. Wirkung von Magneten auf andere Substanzen, welche auf das Licht magnetisch wirken. IV. Wirkung von Magneten auf die Metalle im Allgemeinen.*

Eingegangen am 6., — Gelesen am 18. December 1845.

2243. Der Inhalt der letzten Reihe dieser *Untersuchungen* rechtfertigte, glaube ich, zur Genüge die Behauptung, dass die Materie, der Wirkung magnetischer und elektrischer Kräfte ausgesetzt, in einen neuen (d. h. in einen uns bisher unbekannten) Zustand versetzt worden ist (2227), welcher

---

[1]) Philosophical Transactions, 1846, p. 21.

[2]) Mein Freund Wheatstone lenkte heute meine Aufmerksamkeit auf eine am 17. September 1827 in der Akademie der Wissenschaften gelesene und in den *Annales de Chimie*, XXXVI, p. 337 veröffentlichte Abhandlung von Becquerel: „Ueber die durch den Einfluss sehr kräftiger Magnete auf alle Körper ausgeübten magnetischen Wirkungen.“ Sie bespricht die Wirkung des Magnets auf eine Magnetnadel, auf weiches Eisen, auf Eisenoxyduloxyd, auf Eisenoxyd und auf eine Holznadel. Der Verfasser beobachtete und bemerkt, dass bereits Coulomb beobachtet hat, dass eine Holznadel sich unter gewissen Umständen *quer* zu den magnetischen Curven richtete, und er theilt auch die überraschende Thatsache mit, dass er eine Holznadel sich parallel zu den Galvanometerdrähten einstellen sah. Diese Wirkungen schreibt er einem Magnetismus zu, der schwächer, aber der Art nach derselbe ist wie der des Eisenoxyds, da die Körper dieselbe Lage einnehmen. Während die Polarität von Stahl und Eisen in die Längsrichtung der Substanz falle, liege die des Eisenoxyds, des Holzes und Gummilackes meist in Richtung der Breitenausdehnung, und dies immer bei Anwendung eines einzelnen Poles. „Diese Verschiedenheit der Wirkung, welche eine Trennungslinie zwischen diesen beiden Erscheinungsarten bildet, lässt sich so erklären, dass wir, da der Magnetismus im Eisenoxyd, Holz u. s. w. sehr schwach ist, die Reaction des Körpers auf sich selbst übersehen und so die directe Wirkung des Stabes überwiegen muss.“

Da die Abhandlung die Erscheinungen am Holz und Gummilack nicht auf eine elementare *abstossende* Wirkung zurückführt, auch nicht zeigt, dass dieselben

sich durch das von der Materie so erlangte Vermögen, auf das Licht einzuwirken, offenbart hat. Die nunmehr zu beschreibenden Erscheinungen sind völlig anderer Natur und beweisen nicht bloss einen uns bisher unbekannten magnetischen Zustand der bereits erwähnten Substanzen, sondern schliessen auch viele andere ein, darunter eine grosse Anzahl undurchsichtiger und metallischer, ja vielleicht alle Körper mit Ausnahme der magnetischen Metalle und deren Verbindungen. Zugleich bietet uns dieser Zustand die Mittel, auf die Wechselbeziehung der magnetischen Erscheinungen einzugehen und vielleicht eine auf einfachen, fundamentalen Principien gegründete Theorie der magnetischen Wirkungen im Allgemeinen aufzubauen.

2244. Der ganze Gegenstand ist so neu, die Erscheinungen sind so mannigfach und allgemein, dass ich, bei allem Verlangen, kurz zu sein, Vieles beschreiben muss, was sich schliesslich unter einfache Wirkungsprincipien zusammendrängen lassen wird. Doch ist dies bei dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse der einzige Weg, auf dem ich diese Principien und deren Ergebnisse hinlänglich klar zu machen vermag.

I. Der Apparat.

2245. Die zu beschreibenden Erscheinungen verlangen einen magnetischen Apparat von grosser Stärke, über den wir vollkommen zu gebieten vermögen. Diese Bedingungen lassen sich erfüllen durch Anwendung von Elektromagneten, deren Kraft sich weit über die der natürlichen oder stählernen Magnete steigern lässt, und denen wir überdies ihre Kraft augenblicklich völlig nehmen oder auf den höchsten Grad steigern können, ohne die Anordnung oder sonst eine zum Experiment gehörige Bedingung im geringsten ändern zu müssen.

2246. Einen der von mir benutzten Elektromagnete habe ich bereits unter dem Namen Woolwich-Spule beschrieben (2192). Der dazu gehörige Weicheisenkern hat eine Länge von 28 Zoll und einen Durchmesser von 2,5 Zoll. Durch zehn Grove'sche Elemente erregt, trägt jedes Ende ein bis zwei Fünfzigpfundstücke. Der Magnet kann vertical oder horizontal gestellt werden. Der Eisenkern ist ein Cylinder mit flachen Enden, aber ich hatte auch einen 1 Zoll hohen Eisenkegel, dessen Grundfläche 2 Zoll Durch-

---

einer ausgedehnten Gruppe von Körpern gemeinsam ist, diese Gruppe, welche ich diamagnetisch genannt habe, auch nicht von der magnetischen Gruppe unterscheidet; da sie alle magnetischen Wirkungen als von Einer Art ansieht, während ich zeige, dass es zwei Arten solcher Wirkungen giebt, die von einander ebenso verschieden sind, wie positive und negative elektrische Wirkung ihrerseits, so glaube ich nicht nöthig zu haben, ein Wort oder das Datum meiner Niederschrift zu ändern; aber ich freue mich sehr, meine Anerkennung der wichtigen Beobachtungen und Arbeiten Becquerel's über diesen Gegenstand hier aussprechen zu können. — M. F. 5. Dec. 1845.

messer hatte, und den ich an das Ende des Kernes anlegen konnte, um, wenn nöthig, eine konische Endigung zu haben.

2247. Ein anderer meiner Magnete ist hufeisenförmig. Der Eisenstab ist 46 Zoll lang und 3,75 Zoll im Durchmesser und so gebogen, dass die die Pole bildenden Enden 6 Zoll von einander abstehen. Um die beiden Schenkel sind 522 Fuss mit Zwirn besponnener Kupferdraht von 0,17 Zoll Durchmesser gewickelt, so dass zwei Spiralen von je 16 Zoll Länge und drei Drahtlagen gebildet waren. Die Pole, welche, wie gesagt, 6 Zoll von einander abstehen, sind gut geebnet und an diesen sind zwei kurze Stäbe weichen Eisens von 7 Zoll Länge, $2\,^1/_2$ Zoll Breite und 1 Zoll Dicke beweglich, durch Schrauben verstellbar angebracht, so dass sie in jedem weniger als 6 Zoll betragenden Abstand von einander festgehalten werden können. Die Enden dieser Stäbe bilden die ungleichnamigen Pole; das magnetische Feld zwischen ihnen kann grösser oder kleiner gemacht und dementsprechend die Intensität der magnetischen Kraftlinien variirt werden.

2248. Zur Aufhängung der Substanzen zwischen und nahe bei den Polen dieser Magnete bediente ich mich zuweilen einer oben mit einer Scheibe und einem verschiebbaren Drahte versehenen Glasflasche. Ein sechs bis acht Zoll langer, gleichförmig gestreckter Coconfaden war mit dem oberen Ende an dem verschiebbaren Stäbchen, mit dem unteren an einem Papierbügel befestigt, von welchem die zu untersuchenden Gegenstände getragen werden konnten.

2249. Eine andere sehr brauchbare Aufhängungsart bestand darin, einen 6 Fuss langen feinen Faden mit einem Ende an einen verstellbaren Arm nahe der Zimmerdecke zu befestigen und ihn unten in einen kleinen Ring von Kupferdraht endigen zu lassen. Die aufzuhängende Substanz konnte von einem einfachen Rost aus dünnem Kupferdraht getragen werden, der sich nach oben hin auf eine Strecke von 8 bis 10 Zoll verlängerte und an dem oberen Ende zu einem Haken gebogen war, mit dem er an dem Ring befestigt werden konnte. Das Niveau der aufgehängten Substanz konnte nach Belieben geändert werden, indem man einen beliebigen Theil des Drahtes an gehöriger Stelle hakenförmig krümmte. Ein Glascylinder zwischen den Magnetpolen genügte völlig, um jede Bewegung der aufgehängten Substanz, die von Luftströmungen herrühren könnte, auszuschliessen.

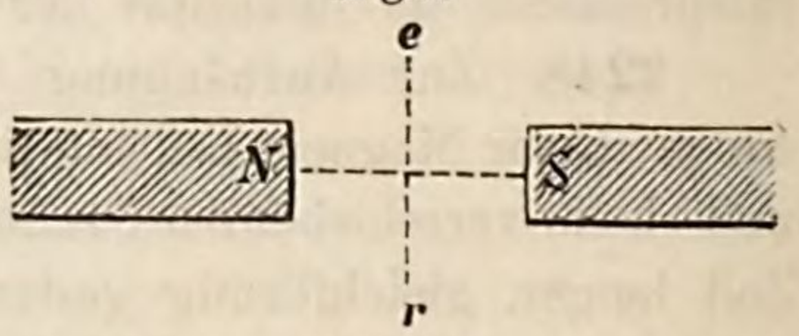
2250. Ehe man eine Experimentaluntersuchung mit einem solchen Apparat unternimmt, muss man die Wirkung des Magnetismus kennen, welchen die angewandten Körper etwa besitzen. Die Fähigkeit des Apparates, solchen Magnetismus erkennbar zu machen, ist so gross, dass es in dieser Hinsicht schwierig ist, für den oben erwähnten Bügel geeignetes Schreibpapier zu finden. Bevor man daher Versuche anstellt, muss man sich überzeugen, dass der Aufhängungsapparat nicht einer magnetischen Richtkraft unterliegt, d. h. nicht vermöge der magnetischen Kraft eine zu den die Magnetpole verbindenden Linien parallele Lage einnimmt. Bei Aufhängungs-

vorrichtungen aus Kupfer tritt ein eigenthümlicher Effect ein (2309), der jedoch, wenn man ihn, wie es späterhin der Fall sein wird, erkannt hat, die Versuchsergebnisse nicht stört. Der Draht muss fein sein, nicht magnetisch wie Eisen, und der Rost darf in horizontaler Richtung keine längliche Gestalt haben, sondern muss in dieser Richtung seinen Hauptdimensionen nach rund oder quadratisch sein.

2251. Die zu untersuchenden Substanzen müssen sorgfältig geprüft, und wenn man sie nicht frei von Magnetismus findet, verworfen werden. Ihr Zustand lässt sich leicht ermitteln; denn wenn sie magnetisch sind, so werden sie entweder von den Polen des grossen Magnets angezogen oder zwischen ihnen sich in bestimmter Richtung einstellen. Zu dieser Prüfung reichen jedoch kleinere Magnete oder eine Magnetnadel nicht aus.

2252. Ich werde so oft Veranlassung haben, von zwei Hauptrichtungen im magnetischen Felde zu reden, dass ich zur Vermeidung von Weitläufigkeiten mir hier gestatten will, einige Kunstausdrücke bedingungsweise zu gebrauchen. Eine dieser Richtungen ist die von Pol zu Pol oder längs der Linie magnetischer Kraft; ich will sie die axiale Richtung nennen. Die andere Richtung ist senkrecht zu dieser und quer zu der magnetischen Kraftlinie, und ich will sie mit Bezug auf den Raum zwischen den Polen die äquatoriale Richtung nennen. Andere Ausdrücke, die ich etwa gebrauchen sollte, werden sich hoffentlich von selbst erklären.

Fig.4.



II. Wirkung von Magneten auf schweres Glas.

2253. Das 2 Zoll lange und ungefähr 0,5 Zoll breite und ebenso dicke Stäbchen von kieselborsaurem Bleioxyd oder schwerem Glase, das bereits als die Substanz beschrieben wurde, in welcher zuerst die Einwirkung magnetischer Kräfte auf einen Lichtstrahl (2152) erkannt worden ist, wurde central zwischen den Magnetpolen aufgehängt (2247) und sich selbst überlassen, bis die Torsionswirkung vorüber war. Wurde nun der Magnet durch Schliessung der Volta'schen Batterie erregt, so gerieth das Stäbchen augenblicklich in Bewegung, drehte sich um den Aufhängungspunkt in eine zu der magnetischen Curve oder Kraftlinie senkrechte Lage und kam nach einigen Schwingungen in dieser Lage zur Ruhe. Brachte man es mit der Hand aus dieser Lage heraus, so kehrte es wieder in dieselbe zurück, und dies liess sich vielmals wiederholen.

2254. Welches der beiden Enden des Stäbchens nach dieser oder jener Seite der axialen Linie hinging, erwies sich als indifferent; das Bestimmende hierbei war lediglich die zu Anfang des Versuches stattfindende Neigung des Stäbchens in dem einen oder anderen Sinne zur axialen Linie. Befand

sich ein Ende, das mit einer Marke versehen ward, an der einen Seite der magnetischen oder axialen Linie, so ging dieses bei Erregung des Magnets weiter nach aussen, bis das Stäbchen die äquatoriale Lage eingenommen hatte.

2255. In dieser Hinsicht brachte eine durch Aenderung der Richtung des elektrischen Stromes bewirkte Umkehrung der Polarität des Magnets keinerlei Unterschied hervor. Der Stab bewegte sich auf dem kürzesten Wege in die äquatoriale Lage.

2256. Ueber die Kraft, welche das Stäbchen in diese Lage trieb, konnte ich so vollständig gebieten, dass das Stäbchen, wenn es in Schwingungen begriffen war, auf seinem Wege in diese Lage leicht beschleunigt oder beim Verlassen derselben leicht aufgehalten werden konnte, indem man die Volta'sche Batterie zur rechten Zeit schloss.

2257. Es giebt für das Stäbchen zwei Gleichgewichtslagen, eine stabile und eine labile. Befindet es sich in Richtung der Axe oder magnetischen Kraftlinie, so bewirkt der Stromschluss keine Lagenänderung; ist es aber auch nur im mindesten gegen diese Lage geneigt, so nimmt die Neigung zu, bis das Stäbchen die äquatoriale Lage erreicht. Ist das Stäbchen von vornherein in der äquatorialen Lage, so bringt der Magnetismus keine weitere Aenderung hervor, sondern hält es hier fest (2298, 2299, 2384).

2258. Hier haben wir also ein in Bezug auf den Nordpol und Südpol nach Ost und West pointirendes magnetisches Stäbchen, d. h. es stellt sich senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien.

2259. Wird das Stäbchen so eingestellt, dass sein in der axialen Linie befindlicher Aufhängungspunkt von den Polen nicht gleichweit absteht, sondern dem einen näher liegt als dem anderen, so bewirkt der Magnetismus ebenfalls, dass das Stäbchen eine zu den magnetischen Kraftlinien senkrechte Lage einnimmt, gleichviel welches Ende des Stäbchens sich an dieser oder jener Seite der axialen Linie befindet. Aber es tritt hierbei gleichzeitig noch eine andere Erscheinung auf; in dem Augenblick, in welchem der elektrische Strom geschlossen wird, weicht nämlich der Schwerpunkt des Stäbchens von dem Pole zurück und bleibt in der Abstossungslage so lange als die Erregung des Magnets dauert. Lässt man den Magnetismus verschwinden, so kehrt das Stäbchen in die von seiner Schwere bedingte Lage zurück.

2260. Ganz dasselbe findet an dem anderen Pole des Magnets statt. Beide Pole können das Stäbchen abstossen, welche Lage es auch immer haben mag, und sie bewirken gleichzeitig, dass es sich rechtwinkelig zu den magnetischen Kraftlinien einstellt.

2261. Wenn das Stäbchen in der axialen Linie gleich weit von beiden Polen absteht, so lässt sich keine abstossende Wirkung wahrnehmen.

2262. Erhält man jedoch den Aufhängungspunkt in der äquatorialen Linie, d. h. in gleichem Abstande von den beiden Polen, und entfernt ihn ein wenig nach der einen oder anderen Seite der axialen Linie (2252),

dann tritt ein anderer Effect ein. Das Stäbchen stellt sich zwar wie vorher quer zur magnetischen Kraftlinie, aber gleichzeitig weicht es von der axialen Linie zurück, so dass sein Abstand von ihr sich vergrössert, und behält diese neue Lage so lange bei, als der Magnetismus besteht, um sie mit dem Verschwinden desselben zu verlassen.

2263. Anstatt zweier Magnetpole kann man auch einen einzelnen Pol anwenden, und zwar in verticaler oder in horizontaler Lage. Die Erscheinungen sind in völligem Einklang mit den oben beschriebenen; das Stäbchen wird, wenn es dem Pole nahe ist, von diesem in Richtung der magnetischen Kraftlinie abgestossen und dreht sich gleichzeitig in eine zur Richtung der es durchsetzenden magnetischen Kraftlinien senkrechte Lage. Ist der Magnet vertical (2246) und das Stäbchen ihm zur Seite, so stellt sich dasselbe unter dem Einfluss des ersteren tangential zur Krümmung seiner Oberfläche.

2264. Um das Einstellen quer zu den magnetischen Curven zu erzielen, muss das schwere Glas eine längliche Gestalt haben; ein Würfel oder ein annähernd rundes Stück wird sich nicht so richten, wie es ein längliches Stück thut. Zwei oder drei abgerundete Stücke oder Würfel, die in einer Papiermulde an einander gestellt werden, so dass sie ein längliches Stück bilden, werden sich gleichfalls richten.

2265. Indess werden Stücke von jeder Gestalt *abgestossen*. Wenn beispielsweise zwei Stücke zugleich in der axialen Linie aufgehängt werden, jedes in der Nähe eines Poles, so werden sie durch die ihnen nahen Pole abgestossen und nähern sich einander, so dass sie sich anzuziehen scheinen. Oder wenn man zwei Stücke in der äquatorialen Linie aufhängt, jedes an einer Seite der Axe, so weichen beide von der Axe zurück und scheinen sich abzustossen.

2266. Aus dem Wenigen, das bisher gesagt worden ist, geht hervor, dass die Bewegung des Stäbchens ein verwickeltes Resultat der von dem Magnetismus auf das schwere Glas ausgeübten Kraft ist, und dass man durch Anwendung von Würfeln oder Kugeln eine viel einfachere Angabe der Wirkung erhält. In der That war bei Anwendung eines Würfels und zweier Pole das Resultat Abstossung oder Zurückweichen von den Polen und Zurückweichen von der magnetischen Axe auf der einen oder anderen Seite.

2267. Der der Untersuchung unterworfene Körper bewegt sich also entweder längs den magnetischen Curven oder quer zu ihnen, und zwar thut er dies in der einen oder anderen Richtung; das einzige Beständige ist das Bestreben, sich von Orten stärkerer zu Orten schwächerer magnetischer Kraft zu bewegen.

2268. Dies trat bei Anwendung eines einzelnen Poles viel einfacher hervor, denn in diesem Falle zeigte der Würfel oder die Kugel das Bestreben, sich nach aussen hin in Richtung der magnetischen Kraftlinien zu bewegen. Es hatte merklich den Anschein einer schwachen elektrischen Abstossung.

2269. Der Grund der Einstellung des Stäbchens oder sonstwie länglich gestalteten schweren Glases ist nunmehr klar. Es ist lediglich ein Resultat des Bestrebens der Theilchen sich nach aussen hin oder nach Stellen schwächster magnetischer Kraft zu bewegen. Die vereinte Wirkungsäusserung sämmtlicher Theilchen bringt die Masse in die von der Erfahrung als ihr zukommend erkannte Lage.

2270. Wenn ein einzelner oder gleichzeitig beide Pole in Wirksamkeit treten, so beschreiben die Theilchen des frei beweglichen schweren Glases in ihrer Bahn eine Reihe von Linien oder Curven, auf welche ich späterhin zurückzukommen Veranlassung haben werde, und da ich Luft, Glas, Wasser u. s. w. Diamagnetica genannt habe (2149), so will ich diese Linien als *diamagnetische Curven* bezeichnen, sowohl in Beziehung zu als auch zum Unterschiede von den Linien, welche ich magnetische Curven genannt habe.

2271. Die gleichen Erscheinungen treten auf, wenn das Stäbchen schweren Glases in ein zwischen den Polen befindliches Gefäss mit Wasser, Alkohol oder Aether eingetaucht ist; das Stäbchen pointirt und der Würfel weicht zurück, genau so wie in Luft.

2272. In Gefässen von Holz, Stein, Thon, Kupfer, Blei, Silber oder irgend einer der zu den Diamagneticis gehörigen Substanzen (2149) treten die Erscheinungen gleicherweise auf.

2273. Bei Anwendung eines gewöhnlichen guten stählernen Hufeisenmagnets (2157) habe ich dieselbe Einstellung in äquatorialer Richtung und dieselben Bewegungen des schweren Glases beobachtet, wie die oben beschriebenen, wiewohl in sehr schwachem Grade; dagegen gelang es mir nicht bei Anwendung der Spiralen (2191, 2192) ohne Eisenkern.

2274. Hier haben wir also magnetische Abstossung ohne Polarität, d. h. ohne Beziehung zu einem bestimmten Magnetpole, denn beide Pole stossen die Substanz ab und beide auf einmal (2262). Das schwere Glas, wiewohl es der magnetischen Wirkung unterliegt, kann doch nicht als magnetisch im gewöhnlichen Sinne des Wortes, also wie Eisen, Nickel, Cobalt und deren Verbindungen, angesehen werden. Es zeigt uns unter diesen Umständen eine uns bisher unbekannte magnetische Eigenschaft; die Erscheinungen sind zwar ihrer Natur und ihrem Charakter nach sehr verschieden von denen, welche sich in der Einwirkung des schweren Glases auf Licht offenbaren (2152), aber dennoch scheinen sie auf demselben hierbei sich geltend machenden Zustande des Glases zu beruhen oder mit demselben in Zusammenhang zu stehen und beweisen daher im Verein mit jenen die Realität dieses neuen Zustandes.

III. Wirkung von Magneten auf andere Substanzen, welche auf das Licht magnetisch wirken.

2275. Wir können nun vom schweren Glase zur Untersuchung der übrigen Substanzen übergehen, welche unter Einfluss magnetischer oder elektrischer Kräfte im Stande sind, einen polarisirten Lichtstrahl zu afficiren und zu drehen (2173), und wir können die Untersuchung auch leicht ausdehnen auf solche Körper, die ihrer unregelmässigen Gestalt, ihrer unvollkommenen Durchsichtigkeit oder völligen Undurchsichtigkeit wegen nicht mittelst des polarisirten Lichtstrahles geprüft werden konnten, denn die vorliegende Probe bietet der Anwendung auf solche Substanzen keine Schwierigkeit.

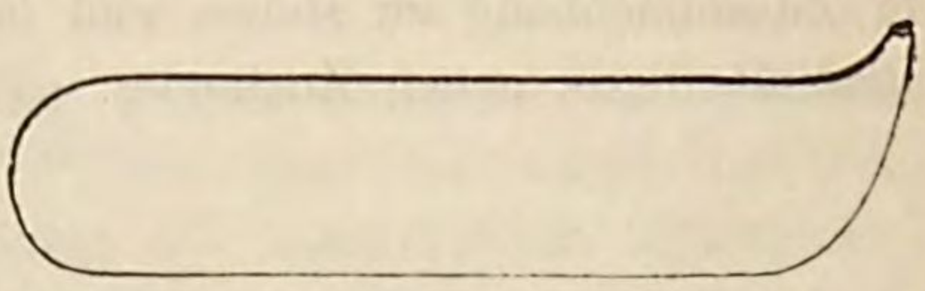
2276. Ich fand bald, dass die Eigenschaft, von Magnetpolen abgestossen und afficirt zu werden, nicht dem schweren Glase eigenthümlich ist. Bleiborat, Flintglas und Crownglas stellten sich gleichfalls äquatorial und wurden in der Nähe der Pole von diesen abgestossen, wenngleich nicht so stark wie das schwere Glas.

2277. Unter den Substanzen, welche nicht der Untersuchung mittelst des Lichtes unterworfen werden konnten, bot Phosphor in Gestalt eines Cylinders die Erscheinungen sehr gut dar, ich glaube, ebenso stark, wenn nicht stärker als schweres Glas. Schwefel in Cylinderform und ein längliches Stück Kautschuk, die nicht im gewöhnlichen Sinne magnetisch sind, wurden gerichtet und abgestossen.

2278. Krystallinische Substanzen, gleichviel ob sie der einfach oder der doppelt brechenden Körpergruppe angehörten (2237), gehorchten gleichfalls diesem Einflusse. Prismen von Quarz, Kalkspath, Salpeter und Natriumsulphat stellten sich sämmtlich deutlich ein und wurden abgestossen.

2279. Ich unterwarf ferner eine grosse Anzahl von Körpern aus allen möglichen Gruppen den magnetischen Kräften und will, um eine klare Vorstellung von der Verschiedenheit der Natur dieser Substanzen zu geben, unten eine verhältnissmässig kurze Liste von krystallinischen, amorphen, flüssigen und organischen Körpern mittheilen. Flüssige Körper schloss ich in dünne Glasröhren ein. Flintglas stellt sich zwar selbst äquatorial ein, aber wenn die Röhre aus sehr dünnem Glase besteht, so zeigt sich die Wirkung auf die Röhre allein gering, und wenn sie dann mit Flüssigkeit gefüllt beobachtet wird, so ist die Wirkung derart, dass man nicht zu fürchten braucht, die von dem Glase herrührende mit der Wirkung der Flüssigkeit zu verwechseln. Die Röhren dürfen nicht mit Kork, Siegellack oder einer auf's Geradewohl genommenen Substanz verschlossen werden,

Fig. 5.



denn diese sind im Allgemeinen magnetisch (2285). Ich habe ihnen gewöhnlich eine solche Gestalt gegeben, dass ich sie am Halse auszog und das eine Ende offen liess, so dass sie, mit Flüssigkeit gefüllt, nicht verschlossen zu werden brauchten.

2280.

Bergkrystall,	Wasser,
Calciumsulphat,	Alkohol,
Bariumsulphat,	Aether,
Natriumsulphat,	Salpetersäure,
Kaliumsulphat,	Schwefelsäure,
Magnesiumsulphat,	Salzsäure,
Alaun,	Lösungen verschiedener Alkali- und Erdsalze,
Chlorammonium,	
Chlorblei,	Glas,
Chlornatrium,	Bleiglätte,
Kaliumnitrat,	Weisser Arsenik,
Bleinitrat,	Jod,
Natriumcarbonat,	Phosphor,
Doppelspath,	Schwefel,
Bleiacetat,	Harz,
Brechweinstein,	Wallrath,
Seignettesalz,	Coffein,
Weinsteinsäure,	Cinchonin,
Citronensäure,	Margarinsäure,
Olivenöl,	Schellackwachs,
Terpentinöl,	Siegellack,
Gagat,	Gedörrtes Hammelfleisch,
Kautschuk,	Frisches Rindfleisch,
Zucker,	Gedörrtes Rindfleisch,
Stärke,	Frisches Blut,
Gummi arabicum,	Eingetrocknetes Blut,
Holz,	Leder,
Elfenbein,	Aepfel,
	Brod.

2281. Es ist eigen, eine Liste von Körpern wie diese zu sehen, die uns urplötzlich diese merkwürdige Eigenschaft zeigen, und es ist seltsam, zu finden, dass ein Stück Holz oder Rindfleisch oder Apfel dem Magnet gehorcht oder von ihm abgestossen wird. Könnte man einen Menschen hinreichend empfindlich, nach Dufay's Art, im magnetischen Felde aufhängen, so würde er sich äquatorial einstellen, denn alle die Substanzen, aus denen er gebildet ist, mit Einschluss des Blutes, besitzen diese Eigenschaft.

2282. Die äquatoriale Einstellung hängt von der Gestalt des Körpers ab, und so gross auch die Verschiedenheit der Gestalt der in vorstehender Liste aufgeführten Substanzen war, so liess sich doch das allgemeine Resultat

feststellen, dass eine Verlängerung in einer Richtung genügte, um zu bewirken, dass sie eine äquatoriale Lage einnahmen. Es war nicht schwer zu erkennen, dass verhältnissmässig grosse Massen sich eben so leicht einstellen würden wie kleine, da bei grösseren Massen mehr magnetische Kraftlinien ihre Wirkung auf den Körper geltend machen, und dies liess sich in der That zeigen. Es währte auch nicht lange, um den Beweis zu erbringen, dass die Scheiben- oder Ringform ebenso gut war wie die Cylinder- oder Prismenform; und der Versuch ergab in der That, dass Scheiben und flache Ringe von Holz, Wallrath, Schwefel u. s. w. in gehöriger Weise aufgehängt, ganz deutlich die äquatoriale Lage einnahmen. Könnte man eine Scheibe oder einen Ring von schwerem Glase in jeder Richtung frei beweglich auf Wasser schwimmen lassen und setzte sie so magnetischen Kräften von abnehmender Intensität*) aus, so würden sie sich augenblicklich äquatorial einstellen und in dieser Lage verharren, wenn ihr Mittelpunkt in die Axe der magnetischen Kraft fiele; läge jedoch ihr Mittelpunkt ausserhalb dieser Linie, so würden sie vielleicht allmählich von dieser Axe fort in die Aequatorebene übergehen und sich aus dem Zwischenraum der Pole entfernen.

2283. Ich kann nicht finden, dass eine Zertheilung der Substanz einen merklichen Einfluss auf diese Vorgänge hat. Ich beobachtete die Stärke der Kraft, mit welcher ein Stück Doppelspath sich äquatorial einstellte, zerbrach es dann in sechs bis acht Theile, legte sie in eine Glasröhre und beobachtete abermals, ohne einen Unterschied in der Wirkung wahrnehmen zu können. In einer zweiten Versuchsreihe wurde der Kalkspath zu grobkörnigen Theilchen, dann zu einem groben und schliesslich zu einem feinen Pulver zerstossen, aber auch in keinem dieser Fälle konnte ich hinsichtlich der äquatorialen Einstellung einen Unterschied wahrnehmen, ausser dass mir im letzten Falle eine geringe Verminderung dieser Tendenz eingetreten zu sein schien; doch ist sie, wenn überhaupt vorhanden, fast unmerklich. Denselben Versuch mit demselben Erfolge stellte ich mit Kieselerde an, — es fand keine Verminderung der Kraft statt. Ich darf hier auch hinzufügen, dass Stärke und andere Substanzen in Form feinen Pulvers die Erscheinung sehr gut zeigten.

2284. Es bedarf sehr feiner Versuche und grosser Sorgfalt, um die specifische Grösse dieser magnetischen Kraftwirkung, wie sie sich bei den verschiedenen Substanzen zeigt, zu ermitteln, und ich habe in dieser Hinsicht sehr geringe Fortschritte zu verzeichnen. Schweres Glas steht über Flintglas, und dieses über Spiegelglas. Wasser steht tiefer als alle diese, und Alkohol, glaube ich, tiefer als Wasser, Aether tiefer als Alkohol. Bleiborat steht, glaube ich, in gleicher Höhe mit schwerem Glase, wenn nicht über diesem, und Phosphor steht wahrscheinlich an der Spitze aller der eben genannten Substanzen. Ich beobachtete die äquatoriale Einstellung des Phosphors zwischen den Polen eines gewöhnlichen Magnets (2273).

---

*) Es ist nicht ersichtlich, weshalb Faraday hier die magnetischen Kräfte als *diminishing in intensity* einführt. D. Ü.

2285. Ich war sehr überrascht zu finden, dass das Blut nicht magnetisch ist (2280), ebenso wenig die von mir untersuchten Proben der rothen Muskelfasern vom Rinde oder Hammel. Dies war mir um so auffallender, als, wie man späterhin sehen wird, Eisen *immer* und in fast *allen Zuständen* magnetisch ist. Allein man muss hierbei beachten, dass die gewöhnliche magnetische Eigenschaft der Materie und diese *neue Eigenschaft* in ihren Wirkungen einander entgegengesetzt sind, und dass, wenn diese Eigenschaft stark ausgeprägt ist, sie einen sehr niedrigen Grad gewöhnlicher magnetischer Kraft überwiegen kann, ebenso wie die magnetische Eigenschaft von gewisser Stärke diese Kraft hemmen und ihr Vorhandensein verdecken kann (2422). Eben dieser Umstand erheischt von vornherein so nothwendig Vorsicht bei der Untersuchung des magnetischen Zustandes der Körper (2250). Die folgende Reihe einiger Substanzen, welche ich schwach magnetisch gefunden habe, wird diesen Punkt aufklären: Papier, Siegellack, Tusche, Berliner Porcellan, Seidenwurmdarm, Asbest, Flussspath, Mennige, Zinnober, Bleisuperoxyd, Zinksulphat, Turmalin, Graphit, Schellack, Holzkohle. In einigen dieser Fälle war der Magnetismus durch den ganzen Körper verbreitet, in anderen auf eine bestimmte Stelle beschränkt.

2286. Hier darf ich bemerken, dass es nunmehr keine Schwierigkeit haben kann, zuzugeben, dass die Fülle der Erscheinungen das Vorhandensein einer uns bisher unbekannten magnetischen Eigenschaft darthut. Unter den hieraus sich ergebenden Consequenzen ist es nicht die am wenigsten interessante, wie sich diese Erkenntniss zu der zuweilen geäusserten Behauptung stellt, dass alle Körper magnetisch seien. Diejenigen, welche diese Ansicht hegen, meinen, dass alle Körper magnetisch seien wie das Eisen, und sagen, dass sie sich von Pol zu Pol einstellen. Die neuen Thatsachen sind keine blosse Widerlegung dieser Behauptung, sondern etwas mehr als dies, sie geben nämlich einen positiven Beweis, dass in allen anderen Körpern Kräfte existiren, welche denen der magnetischen Körper gerade entgegengesetzt sind; denn während diese thatsächlich Anziehung hervorbringen, bewirken jene Abstossung; diese richten einen Körper axial, jene bringen ihn in eine äquatoriale Lage, und so sind die Thatsachen, wenn man die Körper im Allgemeinen betrachtet, gerade umgekehrt wie die, welche die erwähnte Ansicht zur Voraussetzung hat.

IV. Wirkung von Magneten auf die Metalle im Allgemeinen.

2287. Die Metalle bilden eine Körperklasse, welche den magnetischen und elektrischen Kräften gegenüber ein hohes und entschiedenes Interesse darbieten, und von ihnen liesse sich vor allen erwarten, dass sie in Hinsicht der überraschenden Eigenschaft, welche, wie wir gesehen haben, einer so grossen Anzahl in ihren allgemeinen Charakteren so verschiedener Substanzen gemeinsam ist, einige besondere Erscheinungen aufweisen werden. Bisher hat sich in dieser Beziehung noch kein Unterschied gezeigt zwischen leitenden

und nichtleitenden, durchsichtigen und undurchsichtigen, festen und flüssigen, krystallinischen und amorphen, ganzen und zerstückelten Körpern, und es war für mich daher von höchstem Interesse, zu erfahren, ob die Metalle, als eine für sich bestehende Klasse, mit zu dieser grossen Allgemeinheit gehören oder schliesslich eine Sonderstellung einnehmen würden.

2288. Dass unter den Metallen Eisen, Nickel und Cobalt eine besondere Gruppe bilden, erschien nahezu zweifellos, und ich glaube, dass es der Untersuchung zum Vortheil gereichen wird, wenn ich sie für sich in einem besonderen Abschnitt betrachte. Wenn ferner andere Metalle sich ebenso magnetisch erweisen sollten, wie diese, so wird es richtig und zweckmässig sein, sie in dieselbe Gruppe einzureihen.

2289. Mein nächstes Ziel war daher, zu untersuchen, ob die Metalle irgend welche Anzeichen von gewöhnlichem Magnetismus liefern. Eine solche Prüfung kann nicht ausgeführt werden mit Magneten, die an Stärke denen nachstehen, welche bei der weiteren Untersuchung angewandt werden mussten. Denn ich fand viele Metallproben, welche in der Nähe einer Magnetnadel oder eines starken Hufeisenmagnets vollkommen frei von Magnetismus zu sein schienen (2157), während sie doch in der Nähe eines oder beider Pole der beschriebenen Magnete (2246) vollkommen deutliche Anzeichen von Magnetismus lieferten.

2290. Mein Verfahren, auf Magnetismus zu prüfen, war folgendes: Das zu untersuchende Metallstäbchen von etwa zwei Zoll Länge wurde im magnetischen Felde zuerst schief gegen die axiale Linie aufgehängt; wenn es nun bei Erregung der magnetischen Kräfte nicht in die äquatoriale, sondern in die axiale Lage gedrängt wurde, oder in einer sonst geneigten Richtung verharrte, so sah ich es für magnetisch an. Ich sah es gleichfalls für magnetisch an, wenn es in der Nähe eines Magnetpoles befindlich von diesem nicht abgestossen, sondern angezogen wurde. Offenbar ist die Probe nicht streng, da, wie früher bemerkt wurde (2285), ein Körper eine schwache magnetische Kraft aber zugleich die neue Eigenschaft in so hervorragendem Maasse besitzen kann, dass sie jene neutralisirt oder überwiegt. Im ersten Falle wird er keine der beiden Eigenschaften zu besitzen scheinen, im anderen Falle könnte er frei von Magnetismus und in *geringem* Grade mit der neuen Eigenschaft begabt erscheinen.

2291. Folgende Metalle schienen, nach dem obigen Verfahren geprüft, nicht magnetisch zu sein, oder, wenn sie es waren, in so geringem Grade, dass sie die Wirkungen der anderen Kraft nicht zerstörten und den Fortgang der Untersuchung nicht hinderten.

Antimon,	Silber,
Blei,	Quecksilber,
Cadmium,	Wismuth,
Gold,	Zink,
Kupfer,	Zinn.

2292. Folgende Metalle schienen und scheinen mir auch jetzt noch magnetisch, also Gefährten des Eisens, Nickels und Cobalts zu sein:

Platin, Titan.
Palladium,

2293. Ob diese Metalle in Folge eines geringen Gehaltes an Eisen, Nickel oder Cobalt, oder ob sie an und für sich magnetisch sind, versuche ich einstweilen nicht zu entscheiden, auch will ich nicht behaupten, dass die Metalle der vorigen Tabelle frei davon sind. Ich bin sehr erstaunt, dass fast sämmtliche von mir untersuchten Proben von Zink, Kupfer, Antimon und Wismuth anscheinend frei von Eisen sind, und es ist mir sehr wahrscheinlich, dass manche Metalle, wie Arsen u. s. w., die magnetischen Eigenschaften eines Eisengehalts überwältigen und unterdrücken können, während andere, wie Silber oder Platin, in dieser Hinsicht wenig oder nichts vermögen.

2294. Indem ich zur Betrachtung des Einflusses, welchen die magnetischen Kräfte auf die Metalle ausüben, die nicht nach Art des Eisens magnetisch sind (2291), übergehe, muss ich bemerken, dass zwei Reihen von Erscheinungen hervorgerufen werden, welche sorgfältig von einander geschieden werden müssen. Eine von diesen beruht auf der Induction magnetoelektrischer Ströme, und ich komme später auf sie zurück (2309). Die andere betrifft Wirkungen derselben Art wie diejenigen, welche sich beim schweren Glase und vielen anderen Körpern zeigen (2276).

2295. Alle nichtmagnetischen Metalle unterliegen der magnetischen Kraft, und es treten an ihnen dieselben allgemeinen Wirkungen auf wie an der ausgedehnten Gruppe der bereits erwähnten Substanzen. Die Kraft, welche sie alsdann offenbaren, besitzen sie in verschiedenem Grade. Antimon und Wismuth zeigen sie deutlich und Wismuth scheint ganz besonders damit begabt zu sein. Es übertrifft das schwere Glas, Bleiborat und am Ende auch den Phosphor; ein Stäbchen oder Cylinder daraus von etwa 2 Zoll Länge und 0,25 bis 0,5 Zoll Breite zeigt sich zum Nachweis der eigenthümlichen Erscheinungen so brauchbar wie nur irgend etwas, das ich bisher untersucht habe.

2296. Um genau zu sein, bemerke ich, dass das von mir angewandte Wismuthstäbchen 2 Zoll lang, 0,33 Zoll breit und 0,2 Zoll dick war. Wurde dieses Stäbchen, im magnetischen Felde zwischen den Polen aufgehängt, der magnetischen Kraft ausgesetzt, so stellte es sich so leicht wie das schwere Glas (2253) in äquatorialer Richtung ein und kehrte, aus dieser Lage herausgebracht, *ungehindert* in dieselbe zurück. Letzteres steht zwar in völligem Einklang mit den früheren Erscheinungen, aber in so auffälligem Gegensatz zu den Erscheinungen, welche Kupfer und einige andere Metalle darbieten (2309), dass es hier besonders hervorgehoben zu werden verdient.

2297. Die verhältnissmässig grosse Empfindlichkeit des Wismuths verursacht unter verschiedenen Umständen, einige Bewegungen von ver-

wickelter Natur, die eine sorgfältige Analyse und Erläuterung erfordern. Die hauptsächlichsten derselben und deren Ursache will ich nun erörtern.

2298. Wenn der cylindrische Elektromagnet (2246) vertical gestellt wird, ein Pol also nach aufwärts gerichtet ist, so liegt dieser Pol in dem oberen Ende eines Eisencylinders mit flacher horizontaler Fläche von $2^1/_2$ Zoll Durchmesser. Eine kleine Probekugel von Wismuth (2266), die dicht über dem Mittelpunkte dieser Fläche hängt, führte unter dem Einfluss des Magnetismus keine Bewegung aus. Wird diese Kugel nach aussen gebracht, beispielsweise in die Mitte zwischen dem Centrum und dem Rande, so bewirkt der Magnetismus eine Bewegung nach innen, also gegen die (Verlängerung der) Axe des Eisencylinders hin. Auch wenn sie noch weiter nach aussen hin gebracht wird, bewegt sie sich unter Einfluss des Magnetismus nach innen, und dies tritt beständig so lange ein, bis sie genau über dem Rande der Endfläche des Kernes angebracht wird, in welchem Falle sie gar keine Bewegung annimmt (bei einer anderen Versuchsanordnung sucht sie, wie wir wissen, aus dieser Lage in eine andere überzugehen, die in dem vorliegenden Falle einer vom Kerne aus nach aufwärts gehenden Richtung gleichkommt). Wird sie nun noch weiter nach aussen hin gebracht, so bewirkt der Magnetismus, dass die Kugel nach aussen zu gehen strebt oder abgestossen wird, und dies bleibt dann die Richtung der Kraft in jeder weiter nach aussen oder nach unten hin zur Seite des Kernendes liegenden Stellung.

2299. In der That bildet der kreisförmige Rand, der Durchschnitt des Kernendes mit seinen Seiten, einem, wie die Wismuthkugel, dicht an ihm aufgestellten Körper gegenüber eigentlich die Spitze des Magnetpoles, und eben in Folge der Divergenz der von ihm ausgehenden magnetischen Kraftlinien und der raschen Abnahme ihrer Stärke in allen Richtungen strebt die Kugel in allen Richtungen von ihm fort nach innen oder aufwärts oder aussen zu gehen und führt daher die beschriebenen Bewegungen aus. Daher treten auch nicht alle diese Erscheinungen auf, wenn man die Kugel in grösserer Entfernung von dem Eisen in den Gang magnetischer Curven von im Allgemeinen einfacherer Richtung bringt. Um die Wirkung des Randes auszuschliessen, wurde ein Eisenkegel auf den Kern aufgesetzt, dessen flaches Ende also hierdurch in einen Kegel verwandelt wurde; in diesem Falle wurde die Wismuthkugel nur dann nach aufwärts gedrängt, wenn sie sich über der Spitze des Kegels befand, nach aufwärts und aussen, wenn sie sich mehr oder weniger zur Seite desselben befand, indem sie von dem Pole stets in der Richtung abgestossen wurde, in der sie am raschesten von Punkten stärkerer zu Punkten schwächerer magnetischer Kraft geführt wurde.

2300. Kehren wir nun zu dem verticalen flachen Pole zurück. Wenn ein horizontales Wismuthstäbchen concentrisch zum Pole und ganz nahe an ihm aufgehängt war, so konnte es jede beliebige Lage relativ zur Axe des Poles einnehmen und zeigte zugleich ein Bestreben, sich aufwärts zu bewegen oder von ihm abgestossen zu werden. War sein Aufhängungspunkt

etwas excentrisch, so drehte es sich nach und nach, bis es der seinen Aufhängungspunkt mit der Verlängerung der Polaxe verbindenden Linie parallel war, und der Schwerpunkt bewegte sich nach innen. Lag der Aufhängungspunkt gerade an der Aussenseite des Randes der kreisförmigen flachen Endfläche, und bildete das Stäbchen einen gewissen Winkel mit einer radialen Linie, welche die Axe des Kernes mit dem Aufhängungspunkt verband, so waren die Bewegungen des Stäbchens unbestimmt und schwankend. War der Winkel kleiner als jener, so bewegte sich das Stäbchen in eine mit der radialen Linie parallele Lage und ging nach innen; war er grösser, so drehte sich das Stäbchen, bis es einen rechten Winkel mit der radialen Linie bildete und ging nach aussen. Lag der Mittelpunkt des Stäbchens noch weiter nach aussen als in dem letzten Falle, oder weiter unten zur Seite des Kernes, so stellte sich das Stäbchen stets senkrecht zu dem Radius und ging nach aussen. Alle diese complicirten Bewegungsvorgänge lassen sich leicht in ihren elementaren Ursprung auflösen, wenn man den Einfluss der das Ende des Kernes begrenzenden kreisrunden Kante, die Richtung der von ihr und anderen Stellen des Poles ausgehenden Kraftlinien, die Lage der verschiedenen Theile des Stäbchens in diesen Linien und das beherrschende Princip berücksichtigt, dass jedes Theilchen auf dem kürzesten Wege von Punkten *stärkerer* zu Punkten *schwächerer* magnetischer Kraft zu gehen strebt.

2301. In Wasser, Alkohol, Aether, Oel, Quecksilber u. s. w. eingetaucht, stellt sich Wismuth leicht ein und wird abgestossen (2296), ebenso wenn es in Gefässe von Steingut, Glas, Kupfer, Blei u. s. w. eingeschlossen (2272) wird, oder auch wenn 0,75 bis 1 Zoll dicke Schirme von Wismuth, Kupfer oder Blei dazwischen geschoben werden. Selbst in einem Eisengefässe von 2,5 Zoll Durchmesser und 0,17 Zoll Dicke wurde ein Wismuthwürfel (2266) von dem Magnetpole stark und ungehindert abgestossen.

2302. In dem Charakter oder dem Grade seiner magnetischen Eigenschaft scheint zwischen massivem Wismuth und sehr feinem Pulver desselben kein Unterschied zu bestenen (2283).

2303. Ich stellte viele Versuche mit massiven Stücken und Stäben von Wismuth an, die aufgehängt oder unter anderen Bedingungen sich befanden, um zu ermitteln, ob zwei Stücke, wenn sie gleichzeitig dem Einfluss magnetischer Kräfte ausgesetzt werden, eine gegenseitige Wirkung, sei es eine anziehende, sei es eine abstossende, auf einander ausüben, vermochte jedoch kein Anzeichen einer solchen Wechselwirkung aufzufinden; sie schienen völlig indifferent gegen einander zu sein und beide hatten das Bestreben, von Punkten stärkerer zu Punkten schwächerer magnetischer Kraft zu gehen.

2304. Sehr feines Wismuthpulver wurde auf Papier gestreut, das auf die horizontale kreisförmige Endfläche des vertical gestellten Poles (2246) gelegt wurde. War der Magnet nicht erregt, so zeigte sich nichts Be-

sonderes, wenn man gegen das Papier klopfte; liess man jedoch Magnetismus auftreten, so zog sich das Pulver von einer Kreislinie gerade über dem Rande des Kernes in beiden Richtungen, nach innen und aussen, zurück, indem es den Kreis frei liess und die Wismuththeilchen gleichzeitig das Bestreben zeigten, in allen Richtungen von dieser Linie fortzugehen (2299).

2305. Ebenso zeigte sich nichts Besonderes, wenn der Pol in einen Kegel endigte (2246) und das mit Wismuthpulver bestreute Papier über die Spitze des Kegels hingezogen wurde, ohne dass der Magnet in Wirksamkeit war; war aber der Magnetismus erregt, so wurde jeder über die Kegelspitze hin gehende Punkt vom Pulver befreit, so dass sich eine in deutlichen, durch das Pulver gehenden Linien verzeichnete Spur bildete, die somit jede Stelle andeutete, die über den Pol hinweggegangen war.

2306. Sowohl das Wismuthstäbchen als auch ein Antimonstäbchen stellte sich zwischen den Polen des gewöhnlichen Hufeisenmagnets äquatorial ein.

2307. Die folgende Reihe mag dazu dienen, eine Vorstellung von der anscheinenden Ordnung einiger Metalle zu geben, in der sie hinsichtlich ihres Vermögens, diese neuen Erscheinungen hervorzubringen, stehen, aber ich bin nicht sicher, dass sie völlig frei von magnetischen Metallen sind. Ueberdies giebt es gewisse andere Wirkungen des Magnetismus auf Metalle (2309), welche die Folgen der in Rede stehenden Eigenschaft stören.

Wismuth,	Cadmium,
Antimon,	Quecksilber,
Zink,	Silber,
Zinn,	Kupfer.

2308. Es liegt mir im Sinne, als ob die Abstossung des Wismuths durch den Magnet schon vor mehreren Jahren beobachtet und bekannt gemacht worden wäre. Ist dies der Fall, so sieht man nun, dass das, was damals als eine vereinzelt dastehende Erscheinung angesehen werden musste, die Folge einer allgemeinen Eigenschaft war, welche, wie ich gezeigt habe, aller Materie zukommt.[1])

---

[1]) De la Rive machte mich heute darauf aufmerksam, dass die oben erwähnte Erfahrung von Le Baillif in Paris herrührt und sich in *Bibliothèque Universelle*, 1827, vol. XL, p. 82 findet. Le Baillif zeigte vor sechzehn Jahren, dass sowohl Wismuth als Antimon die Magnetnadel abstiessen. Es ist erstaunlich, dass ein solcher Versuch so lange ohne weitere Folgen geblieben ist. Ich freue mich darauf hinweisen zu können, ehe die vorliegende Reihe dieser *Untersuchungen* unter die Presse kommt. Diejenigen, welche meine Arbeiten lesen, werden hier wie bei manchen anderen Gelegenheiten die Folgen eines immer schwächer werdenden Gedächtnisses erblicken; ich hoffe nur, dass man dieselben entschuldigen und derartige Unterlassungen und Versehen als unabsichtliche betrachten wird. — M. F. 30. Dec. 1845.

2309. Ich wende mich nun zur Erörterung einiger eigenthümlichen Erscheinungen, welche Kupfer und einige andere Metalle zeigen, wenn sie dem Einfluss magnetischer Kräfte ausgesetzt werden, und die geeignet sind, die eben beschriebenen Effecte zu verdecken und dem Beobachter, der sie nicht kennt, zu vielen Irrthümern und Zweifeln Veranlassung zu geben. Ich will zuerst die Erscheinungen selbst beschreiben und dann zu ihrer Entstehungsursache übergehen.

2310. Wenn man an Stelle eines Wismuthstabes (2296) einen Kupferstab von derselben Grösse zwischen den Polen aufhängt (2247) und den Magnet erregt, während der Stab schief zur axialen und äquatorialen Linie steht, so wird der Beobachter eine Einwirkung auf den Stab wahrnehmen, die sich jedoch nicht in einem Bestreben des Stabes, in die äquatoriale Linie überzugehen, geltend macht, sondern er bewegt sich im Gegentheil gegen die axiale Lage hin, wie wenn er magnetisch wäre. Er setzt jedoch seine Drehung nicht wirklich bis zu dieser Lage hin fort, sondern bleibt, abweichend von jeglicher durch Magnetismus hervorgebrachten Wirkung, bald stehen und verharrt hier angelangt plötzlich, ohne um einen gegebenen Punkt Schwingungen zu vollführen, in vollkommener Ruhe. Dies tritt ein, obwohl ja der Stab sich in Folge der Torsion und Trägheit mit einer Kraft bewegte, die ihn hätte veranlassen müssen, mehrere Drehungen auszuführen. Diese Erscheinung steht in auffallendem Gegensatz zu derjenigen, welche sich beim Antimon, Wismuth, schwerem Glase oder anderen Körpern zeigt, und sie weicht auch von magnetischen Wirkungen gewöhnlicher Art ab.

2311. Die Lage, welche der Stab einmal angenommen hat, behält er mit grosser Hartnäckigkeit bei, wenn nur die magnetische Kraft unterhalten bleibt. Aus dieser Lage herausgestossen, kehrt er nicht in dieselbe zurück, sondern nimmt in derselben Weise eine neue Lage ein, in welcher er mit derselben Zähigkeit verharrt; ein Stoss, welcher ohne die Gegenwart von Magnetismus eine mehrmalige Kreisdrehung des Stabes bewirken würde, hat in diesem Falle nur eine Drehung von 20^0 bis 30^0 zur Folge. Ein solches Verhalten zeigen Wismuth und schweres Glas nicht, sie schwingen vielmehr frei im magnetischen Felde und kehren stets in die äquatoriale Lage zurück.

2312. Der Stab kann jede beliebige Lage einnehmen. In dem Augenblick, da der Magnetismus auftritt, bewegt er sich ein wenig, aber abgesehen hiervon, kann er in jeder beliebigen Lage festgehalten werden. Selbst wenn er in Folge von Torsion oder eines Bewegungsantriebes mit beträchtlicher Kraft schwingt, kann er an jeder Stelle, wo der Experimentator es wünscht, eingefangen und zur Ruhe gebracht werden.

2313. Es giebt zwei Lagen, aus denen der Magnetismus den Stab, wenn er zu Beginn des Versuches darin eingestellt wird, nicht herausbringt: die äquatoriale und die axiale Lage. Befindet sich der Stab nahezu

in der Mitte zwischen diesen Lagen, so erleidet er gewöhnlich anfangs eine sehr starke Einwirkung durch den Magnet, aber der Ort der stärksten Einwirkung variirt mit der Gestalt und den Abmessungen der Magnetpole und des Stabes.

2314. Liegt der Aufhängungspunkt in der axialen Linie, aber nahe einem der Pole, so treten diese Bewegungen wohl ein, und ihre Richtung ist deutlich und bestimmt; dieselben werden jedoch in einer Weise, die späterhin leicht verständlich sein wird, modificirt, wenn der Aufhängungspunkt in der äquatorialen Linie, jedoch zur Seite der axialen Linie liegt.

2315. Nachdem wir den Vorgang im Augenblick des Auftretens der magnetischen Kraft angegeben haben, wollen wir nun sehen, was im Augenblick ihres Verschwindens geschieht; denn während ihrer Fortdauer tritt keine Aenderung ein. Wenn, nachdem der Magnetismus zwei bis drei Secunden unterhalten worden war, der elektrische Strom unterbrochen wird, so findet augenblicklich eine starke Einwirkung auf den Stab statt, die das Ansehen eines Rückstosses hat (denn der Stab fällt in die Bahn zurück, welche er bei Stromschluss für einen Augenblick einnahm), aber mit solcher Gewalt, dass, während die Fortbewegung etwa 15^0 bis 20^0 beträgt, der Rückstoss zuweilen zwei bis drei Umdrehungen des Stabes bewirkt.

2316. Schweres Glas oder Wismuth zeigen derartige Erscheinungen nicht.

2317. Wenn der elektrische Strom um den Magnet, während sich der Stab in Folge des Rückstosses dreht, wieder hergestellt wird, so bleibt der Stab unter den früheren Erscheinungen und Vorgängen (2310) augenblicklich stehen, und wenn nun die magnetische Kraft zum Verschwinden gebracht wird, so erfährt der Stab wiederum eine Einwirkung, aber nun freilich in einer der vorigen Rückstossbewegung entgegengesetzten Richtung.

2318. Wird der Stab durch die magnetische Kraft in der axialen oder äquatorialen Lage festgehalten, so findet kein Rückstoss statt, aber wohl wenn er zu diesen Lagen geneigt ist, und die Orte stärkster Wirkung dieser Art scheinen die für die erste kurze Vorwärtsbewegung günstigsten zu sein (2313). Befindet sich der Stab in einer Lage, in welcher ein starker Rückstoss erfolgen würde, und wird er während des Fortbestehens des Magnetismus mit der Hand in die äquatoriale oder axiale Lage gedreht, so tritt bei Aufhebung der magnetischen Kraft kein Rückstoss ein.

2319. Unterhält man den elektrischen Strom und demnach den Magnetismus nur einen Augenblick, so ist der Rückstoss sehr schwach und um so schwächer, je kürzer das Bestehen der magnetischen Kraft dauert. Unterhält man die magnetische Kraft zwei bis drei Secunden, unterbricht sie dann und stellt sie *augenblicklich* wieder her, so wird der Stab frei und durch die Kraft sogleich wieder festgehalten, ehe er seinen Ort merklich änderte, und nun kann man bemerken, dass er bei *Erneuerung* der Kraft sich nicht fortbewegt, wie er es gethan haben würde, wenn zum ersten

Male in dieser Lage der Strom geschlossen worden wäre (2310), d. h. wenn sich der Stab in einer gewissen, zur axialen Richtung geneigten Lage befindet, so bewirkt das erstmalige Auftreten der magnetischen Kraft eine Drehung gegen die axiale Lage hin; wird aber in dieser Lage des Stabes die magnetische Kraft aufgehoben und *augenblicklich* wieder erneuert, so wird durch dieses Auftreten der Kraft der Stab nicht wie das erste Mal bewegt.

2320. Dieselben Erscheinungen wie in Luft treten ein, wenn der Kupferstab in Wasser, Alkohol, Aether oder selbst Quecksilber eingetaucht ist, aber die Bewegungen haben freilich nicht denselben Umfang.

2321. Die Resultate bleiben dieselben, wenn sich zwischen den Polen und dem Kupferstabe Platten aus Kupfer oder Wismuth von einem Zoll Dicke befinden.

2322. Wendet man nur einen Magnetpol an, so treten die Wirkungen in seiner Nähe ebenso gut als vorhin auf, wenn nur dieser Pol eine im Verhältniss zum Stabe grosse Fläche hat, wie das Ende des Eisenkernes (2246); ist jedoch der Pol durch Aufsetzen des konischen Endstückes spitz, oder befindet sich der Stab dem Rande des Kernendes gegenüber, so werden die Wirkungen bedeutend schwächer oder verschwinden gänzlich, und es bleibt nur der allgemeine Abstossungsvorgang übrig (2295).

2323. Die eben beschriebenen eigenthümlichen Erscheinungen zeigen sich vielleicht noch auffallender, wenn der Kupferstab vertical, gegenüber und nahe der grossen Fläche eines einzelnen Magnetpoles aufgehängt wird, oder wenn der Pol irgendwo nahe der Seite desselben vertical, wie oben beschrieben (2246, 2263), gestellt wird. Man erinnere sich, dass der Stab 2 Zoll lang, 0,33 Zoll breit und 0,2 Zoll dick ist, und da er sich nun um eine zu seiner Länge parallele Axe dreht, so sind es die beiden kleineren Abmessungen, welche sich nun frei in neue Lagen bewegen können. In diesem Falle bewirkt die Erregung der magnetischen Kraft, dass der Stab, im Einklang mit den vorher beschriebenen Erscheinungen, sich ein wenig dreht, und die Aufhebung der magnetischen Kraft hat einen Rückstoss zur Folge, so dass der Stab sich mehrmals um seine Axe dreht. Aber in jedem Augenblick kann der Stab gerade so wie vorhin in irgend einer Lage eingefangen und festgehalten werden. Bei Stromschluss hat der Stab das Bestreben, sich mit seiner grössten beweglichen Abmessung, d. h. mit seiner Breitenrichtung parallel zu der Linie zu stellen, welche den Wirkungsmittelpunkt des Magnets mit dem Stabe verbindet.

2324. Der Stab ist, was die Umdrehung um seine Axe betrifft, wie in den vorigen Fällen (2311), ausserordentlich träge, wie wenn er in eine zähe Flüssigkeit tauchte; allein diese Trägheit beeinflusst nicht den Stab als Ganzes, denn er setzt jede etwa vorhandene pendelartige Schwingung unverändert fort. Es ist sehr sonderbar zu sehen, wenn der Stab zugleich um seinen Aufhängungspunkt schwingt (2249) und um seine Axe rotirt, wie unter der anfänglichen Einwirkung der magnetischen Kraft letztere

Bewegung augenblicklich aufhört, während die erstere mit unverminderter Kraft fortdauert.

2325. Dieselbe Dämpfungserscheinung, wie der Stab, zeigt auch ein Würfel oder eine Kugel von Kupfer, aber die Erscheinungen der ersten Drehung und des Rückstosses verschwinden (2310, 2315).

2326. Stäbe von Wismuth und schwerem Glase zeigen nichts der Art. Die am Kupfer auftretenden eigenthümlichen Erscheinungen weichen von den Vorgängen an diesen Substanzen ebenso ab wie von gewöhnlichen magnetischen Wirkungen.

2327. Die Ursache dieser Erscheinungen glaube ich in dem ausgezeichneten Leitungsvermögen des Kupfers für elektrische Ströme, dem *allmählichen* Entstehen und Verschwinden der magnetischen Kraft im Eisenkern des Elektromagnets und in dem Auftreten der magnetoelektrischen Inductionsströme, welche ich in der Ersten Reihe dieser *Experimental-Untersuchungen* beschrieben habe (55, 109), erblicken zu sollen.

2328. Die Hemmung der Bewegung um seine eigene Axe, wenn der Stab den magnetischen Kräften ausgesetzt ist, findet auch bei einer Kugel oder einem Würfel statt. Sie zeigt sich jedoch bei diesen Körpern nur dann, wenn ihre Rotationsaxe senkrecht oder schief zu den magnetischen Kraftlinien, aber nicht, wenn sie ihnen parallel ist; denn der horizontale oder verticale Stab oder der Würfel oder die Kugel rotiren vollkommen leicht, wenn sie *über* dem verticalen Pol (2246) aufgehängt sind; die Rotation wie die Schwingung sind dann gleicherweise frei und ebenso wie die entsprechenden Bewegungen des Wismuths und schweren Glases. Die Hemmung ist am stärksten, wenn die Rotationsaxe senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien, und der Stab oder Würfel u. s. w. dem Magnet nahe ist.

2329. Ohne auf die speciellen Umstände näher einzugehen, darf ich sagen, dass die Erscheinung sich aus den in der Kupfermasse inducirten elektrischen Strömen erklärt. Ich verweise auf die Zweite Reihe dieser *Untersuchungen* (160)[1]), woraus zu ersehen ist, dass, wenn eine der Wirkung der magnetischen Kraftlinien ausgesetzte Kugel um eine zu diesen Linien senkrechte Axe in Umdrehung gesetzt wird, um sie herum in einer zur Rotationsaxe und zu den magnetischen Linien parallelen Ebene ein elektrischer Strom läuft, der natürlich eine magnetische Axe hervorbringt, die mit den magnetischen Curven des inducirenden Magnets einen rechten Winkel bildet. Die magnetischen Pole dieser Axe befinden sich demnach in solcher Richtung, dass sie im Verein mit dem Hauptmagnetpole die Kugel rückwärts zu ziehen streben gegen die Richtung, in welcher sie rotirt. Wenn also ein Stück Kupfer vor dem Nordpol eines Magnets derart rotirt, dass die dem Pole nächsten Theile sich nach rechts bewegen, dann wird der Zustand der rechten Seite des Kupfers südmagnetisch, der der linken Seite nordmagnetisch sein, und diese Zustände werden die nach rechts gehende Bewegung

[1]) Philosophical Transactions, 1832, p. 168.

des Kupfers aufzuheben suchen; dreht es sich in der entgegengesetzten Richtung, so wird der Zustand der rechten Seite nordmagnetisch, der der linken Seite südmagnetisch*) sein. In welcher Richtung also auch immer die Kupfermasse sich um ihre eigene Axe dreht, im Augenblick, da sie sich zu bewegen beginnt, tritt eine Kraft in solcher Richtung auf, dass sie die Bewegung derselben zu hemmen und sie zur Ruhe zu bringen sucht. Befindet sie sich in Bezug auf diese Bewegungsrichtung in Ruhe, so giebt es keine rückständige oder sonstige Wirkung, welche dieselbe zu stören sucht, und sie bleibt demnach in Ruhe.

2330. Wenn die ganze Masse im Vergleich zur Fläche des Magnetpoles, dem sie gegenüber steht, klein ist und sich parallel mit sich selbst bewegt, sie also zwar durch die magnetischen Kraftlinien hindurchgeht, und folglich das Bestreben zur Ausbildung magnetoelektrischer Ströme innerhalb derselben vorhanden ist, so ist dieses doch, da alle Theile sich mit gleicher Geschwindigkeit und in derselben Richtung durch ähnliche magnetische Kraftlinien hindurchbewegen, in allen Theilen dasselbe, es findet in Wirklichkeit keine Strombildung statt, und es ist folglich nichts da, was die Freiheit der Bewegung irgend stören könnte. Dies ist der Grund, dass, obschon die Rotation des Stabes oder Würfels (2324, 2328) um seine eigene Axe gehemmt ist, seine pendelartige Schwingung unbeeinflusst bleibt.

2331. Dass keine der beiden Bewegungen beeinflusst wird, wenn der Stab oder Würfel über dem verticalen Pole sich befindet (2328), hat einfach darin seinen Grund, dass in beiden Fällen (bei den gegebenen Dimensionen des Poles und des sich bewegenden Metalles) die durch die Theilchen dargestellten Linien, in denen die inducirten Ströme sich zu bewegen suchen, durch die ganze Masse hindurch einander parallel sind, und da es demnach keinen Weg giebt, auf welchem der Strom zurückkehren kann, so kann sich überhaupt kein Strom ausbilden.

2332. Ehe ich zur Erklärung der anderen Erscheinungen übergehe, wird es nothwendig sein, die allgemein bekannte und, wie ich glaube, anerkannte Thatsache zu erwähnen, dass zur vollen Entfaltung des Magnetismus in einem Eisenkern durch einen elektrischen Strom und ebenso zu seinem Abfall bei Unterbrechung des Stromes *Zeit* erforderlich ist. Eine Folge des allmählichen Ansteigens des Magnetismus ist bereits in der vorigen Reihe dieser *Untersuchungen* erwähnt worden (2170). Diese Zeit ist für nicht gut ausgeglühtes Eisen wahrscheinlich grösser als für sehr gut und vollständig ausgeglühtes. Die letzten Stärkegrade von Magnetismus, welche ein gegebener Strom in einem gegebenen Eisenkern entwickeln kann, nimmt dieser offenbar langsamer an als die ersten, und diese (oder der Zustand des Eisens, dem sie zuzuschreiben sind,) scheinen auch langsamer wieder verloren zu gehen als die übrigen Bruchtheile der Kraft. Bleibt der elek-

*) Im Text heisst es auch im letzteren Falle offenbar irrthümlich a *south* magnetic state, and . . . a *north* magnetic state. D. Ü.

trische Strom nur einen Augenblick geschlossen, so verschwindet der durch denselben erregte Magnetismus bei Unterbrechung des Stromes ebenso plötzlich, als er bei Stromschluss aufgetreten war; hält man aber den Strom zwei bis drei Secunden lang geschlossen, so verschwindet bei Unterbrechung desselben der Magnetismus durchaus nicht so schnell.

2333. Um den eigenthümlichen Vorgang am Kupfer und dessen Ursache weiter zu verfolgen, wollen wir den Zustand des horizontalen Stabes (2310, 2313) in der äquatorialen Lage zwischen den beiden Magnetpolen oder vor einem Einzelpole näher betrachten, wenn der Aufhängungspunkt mit der Axe des Poles und seiner erregenden Drahtspirale in einer geraden Linie liegt. Sendet man durch die Spirale einen elektrischen Strom, so wird dieser sowohl als auch der von ihm erregte Magnet Ströme von entgegengesetzter Richtung in dem Kupferstab hervorzurufen suchen. Dies ergiebt sich aus meinen früheren *Untersuchungen* (26) und lässt sich erweisen, wenn man einen kurzen oder langen spiralförmigen Draht (wenn nöthig) in Stabform benutzt und die in ihm hervorgerufenen Ströme mittelst Drähte zu einem entfernt aufgestellten Galvanometer fortleitet. Diese in dem Kupfer erregten Ströme dauern nur so lange, als der Magnetismus des Kernes ansteigt, und verschwinden alsdann (18, 39), aber *während* ihres Daseins ertheilen sie der einem Pole gegenüberliegenden Kupferfläche wirklich eine magnetische Polarität, und zwar ist die Polarität gleichartig dem gegenüberliegenden Pole. So entsteht auf der dem Nordpol des Magnets gegenüberliegenden Seite des Stabes eine Nordpolarität, auf der dem Südpol gegenüberliegenden Seite eine Südpolarität.

2334. Es ist leicht einzusehen, dass, wenn das Kupfer während dieser Zeit nur einem einzelnen Pole gegenüber, oder falls es zwischen beiden Polen liegt, dem einen näher als dem anderen sich befindet, jener Vorgang eine Abstossung desselben bewirken muss. Dennoch vermag er nicht den Gesammtbetrag der ebenso beim Kupfer wie beim Wismuth beobachteten Abstossung (2295) zu erklären, da diese Ströme nur von momentaner Dauer sind und die von ihnen herrührende Abstossung mit ihnen aufhören müsste. Sie verursachen jedoch einen kurzen Abstossungsimpuls, welchem der erste Verlauf des eigenthümlichen Effectes vorzugsweise zuzuschreiben ist.

2335. Denn wenn der Kupferstab, anstatt der Fläche des Magnetpoles parallel zu sein und demnach im rechten Winkel zur resultirenden magnetischen Kraft zu stehen, geneigt ist und beispielsweise einen Winkel von 45^0 mit der Fläche bildet, dann werden die Ströme im Allgemeinen in einer diesem Winkel mehr oder weniger entsprechenden Ebene fliessen, etwa so wie es in der zur Untersuchung dienenden Spirale (2333) geschieht, wenn diese in gleicher Weise geneigt ist. Hierdurch wird die Polaxe des Kupferstabes seitlich abgelenkt, so dass die Nordpolarität dem Nordpol des inducirenden Magnets nicht gerade gegenüber liegt, und daher wird die Wirkung dieses und des anderen Magnetpoles auf die Polaritäten

des Kupfers darin bestehen, dieses weiter herum zu treiben, oder es seitwärts zu den Polen, oder mit seiner Breitseite parallel zu der sie durchsetzenden magnetischen Resultirenden zu stellen (2323). Der Stab erhält also einen Impuls, und die dem Magnet zunächst liegende Kante scheint gegen den Magnet hin in die Höhe gezogen zu werden. Diese Wirkung hört natürlich auf, sobald das Ansteigen des Magnetismus des Spiralenkernes aufhört, die aus dieser Ursache entspringende Bewegung hat ein Ende, und das Kupfer ist dann nur noch der früher beschriebenen Wirkung unterworfen (2295). Zugleich mit dieser Drillung oder dieser geringen Drehung um den Aufhängungspunkt wird der Schwerpunkt der ganzen Masse fortgestossen, und somit glaube ich alle diese Vorgänge und besonderen Umstände erklärt zu haben.

2336. Nun komme ich zu dem *Rückstoss*, welcher beim Verschwinden des elektrischen Stromes und dem Abfall des Magnetismus im Eisenkern auftritt. Nach dem Gesetze der magnetoelektrischen Induction werden beim Verschwinden der magnetischen Kraft kurz dauernde Ströme in dem Kupferstabe inducirt (28), aber von entgegengesetzter Richtung als in dem ersten Falle, und daher wird der virtuelle Magnetpol des Kupfers an der dem Nordende des Elektromagnets zunächst liegenden Stelle ein Südpol und an der von demselben Magnetpole entferntesten Stelle ein Nordpol sein. Hieraus entspringt eine Kraftwirkung auf den Stab, die ihn in einer der vorigen entgegengesetzten Richtung um den Aufhängungspunkt zu drehen sucht, und daher der scheinbare Rückstoss; denn die dem Magnetpole nächste Kante wird zurückweichen, die Breitseite (2323) oder Längsseite (2315) des Stabes wird sich herumdrehen und sich dem Magnet zuwenden, und es wird nun eine Wirkung entstehen, die in jeder Hinsicht das Umgekehrte der ersteren ist, ausgenommen dass, während damals die Bewegung nur wenige Grade betrug, sie nunmehr zwei bis drei Umdrehungen ausmachen kann.

2337. Der Grund dieser Verschiedenheit liegt auf der Hand. Im ersten Falle bewegte sich der Kupferstab unter Kräften, die ein starkes Bestreben haben, ihn zurückzuhalten und zu hemmen (2329); in dem zweiten Falle sind diese Kräfte fort, und der Stab dreht sich frei mit einer Kraft, welche proportional ist der Kraft, die der Magnet auf die von ihm selbst inducirten Ströme ausübt.

2338. Auch wenn das Kupfer von solcher Gestalt ist, dass die magnetische Resultante der in demselben inducirten Ströme keine schiefe Richtung hat, wenn es beispielsweise ein Würfel oder eine Kugel ist, so ist doch der Erfolg der oben beschriebenen Wirkung klar (2325). Als eine Kupferplatte von etwa dreiviertel Zoll Dicke und zwei Pfund Gewicht in einem Abstande von 0,1 Zoll von der Vorderfläche des Magnetpoles auf lose Holzklötze gelegt wurde, wurde sie bei Schliessung der Batterie abgestossen und hielt sich, so lange die Batterie geschlossen blieb, in einer bestimmten

Entfernung, um bei Unterbrechung des Stromes gegen den Pol hin zurückzukehren. Die Rückkehr erfolgte jedoch mit grösserer Heftigkeit als durch die Schwere allein veranlasst war (was durch einen Versuch festgestellt wurde), die Platte wurde in diesem Augenblick ebensowohl von der Schwere gegen den Magnet hingetrieben als auch wirklich *angezogen*, so dass sie gegen ihn kräftig anschlug.

2339. Somit glaube ich die eigenthümlichen Erscheinungen, welche das Kupfer im magnetischen Felde zeigt, erklärt zu haben; der Grund, weshalb sie bei diesem Metall und nicht auch beim Wismuth oder schwerem Glase auftreten, kann man nahezu mit Gewissheit in dem hohen elektrischen Leitungsvermögen erblicken, das die Ausbildung von Inductionsströmen gestattet, was im Wismuth nicht in ähnlichem Grade und natürlich ganz und gar nicht im schweren Glase geschehen kann.

2340. Gewöhnlicher Magnetismus, der etwa den Metallen an sich innewohnt oder von einem geringen Gehalt an magnetischen Metallen herrührt, muss der Ausbildung der soeben beschriebenen Erscheinungen entgegenarbeiten, und deshalb lassen sich Metalle, die nicht absolut rein sind, in dieser Hinsicht nicht mit einander vergleichen. Nichtsdestoweniger habe ich dieselben Erscheinungen bei anderen Metallen beobachtet und die erwähnte Dämpfung bei der rotatorischen Bewegung habe ich sogar beim Wismuth verfolgen können. An folgenden Metallen habe ich die Erscheinungen in grösserem oder geringerem Maasse beobachtet:

Kupfer,	Quecksilber,
Silber,	Platin,
Gold,	Palladium,
Zink,	Blei,
Cadmium,	Antimon,
Zinn,	Wismuth.

2341. Die Uebereinstimmung dieser Erscheinungen mit der schönen Entdeckung von Arago[1]), mit den Resultaten der Versuche von Herschel und Babbage[2]) und mit meinen eigenen früheren Forschungen (81)[3]) ist ganz offenbar. Ob die von Ampère mit seinem Kupfercylinder und seiner Spirale[4]) erhaltene Erscheinung dieser Art war, kann ich nicht beurtheilen, da über die Versuchsbedingungen und die Wirksamkeit des Apparates

---

[1]) Annales de Chimie, XXVII, 363; XXVIII, 325; XXXII, 213. Ich freue mich sehr, hier auf die Comptes Rendus vom 9. Juni 1845 hinweisen zu können, woraus zu ersehen ist, dass Arago der Erste war, der seine Erscheinungen ebensowohl mittelst Elektromagnete als mittelst gewöhnlicher Magnete erhalten hat.

[2]) Philosophical Transactions, 1825, p. 467.

[3]) Ibid. 1832, p. 146.

[4]) Bibliothèque Universelle, XXI, p. 48.

keine genügenden Angaben gemacht sind, aber wahrscheinlich war es der Fall.

2342. Da in Folge anderweitiger Pflichten drei bis vier Wochen vergehen könnten, ehe ich im Stande wäre, die Verificirung gewisser Versuche und Schlüsse zu vollenden, so übergebe ich diese Resultate schon jetzt der Royal Society und werde ihnen bald eine Arbeit über die Wirkung von Magneten auf magnetische Metalle, auf Gase und Dämpfe, sowie allgemeine Erörterungen hierüber in einer weiteren Reihe dieser *Untersuchungen* folgen lassen.

Royal Institution,
27. Nov. 1845.

EINUNDZWANZIGSTE REIHE.[1])

§ 27. Ueber neue magnetische Wirkungen und über den magnetischen Zustand aller Materie. Fortsetzung. V. Wirkung von Magneten auf die magnetischen Metalle und deren Verbindungen. VI. Wirkung von Magneten auf Luft und Gase. VII. Allgemeine Betrachtungen.

Eingegangen am 24. December 1845, — Gelesen am 8. Januar 1846.

V. Wirkung von Magneten auf die magnetischen Metalle und deren Verbindungen.

2343. Die magnetischen Eigenschaften des Eisens, Nickels und Cobalts sind wohl bekannt, ebenso weiss man, dass sie bei gewissen Temperaturen diese ihre Eigenschaften verlieren und sich den gewöhnlichen Prüfungsmitteln und Beobachtungen gegenüber als nichtmagnetisch erweisen; sie reihen sich dann den diamagnetischen Körpern an und zeigen ein diesen gleiches Verhalten. Eine eingehendere Untersuchung hat mir jedoch ergeben, dass sie sich immer noch von anderen Körpern erheblich unterscheiden, und dass sie sich zwar im erhitzten Zustande gewöhnlichen Magneten oder gewöhnlichen Prüfungsmitteln gegenüber indifferent verhalten, aber dennoch nicht absolut unwirksam sind, sondern bei jeder Temperatur einen gewissen Betrag magnetischer Kraft zurückbehalten, die ihrer Natur nach identisch ist mit derjenigen, welche ihnen unter gewöhnlichen Umständen eigen ist.

2344. Ein Stück Eisendraht von einem Zoll Länge und 0,05 Zoll Durchmesser wurde vollkommen gereinigt und in der Mitte mittelst eines feinen Platindrahtes an dem Aufhängungsfaden (2249) zwischen den Polen des Elektromagnets schwebend aufgehängt. Mittelst einer Spirituslampe erhitzt, nahm der Eisendraht bald eine Temperatur an, bei der er gegen einen starken gewöhnlichen Magnet, wie nahe dieser ihm auch sein mochte, ganz unempfindlich war. Als jedoch nach beträchtlich weiterer Steigerung der Temperatur mittelst der Flamme der Elektromagnet in Thätigkeit ge-

---

[1]) Philosophical Transactions, 1846, p. 41.

setzt wurde, zeigte sich das heisse Eisen sogleich magnetisch und stellte sich zwischen den Polen ein. Der Magnetismus war schwach, und in dieser Beziehung war der Gegensatz zu dem Verhalten des Eisens in kaltem Zustande schlagend, aber der Charakter der Kraft war genau derselbe.

2345. Man liess nun die Temperatur des Eisens langsam sinken, um die Steigerung des magnetischen Zustandes beobachten zu können. Die Intensität der Kraft schien erst zuzunehmen, als die Temperatur des Eisens auf einen bestimmten Grad gesunken war, alsdann stieg der Magnetismus desselben mit weiterer Abnahme der Temperatur rasch, aber nicht plötzlich an; nun konnte es von dem Magnet nicht ferngehalten werden, sondern flog gegen ihn hin, bog den Aufhängungsdraht und blieb gleichsam mit magnetischer Energie zitternd an dem einen Ende des Kernes haften.

2346. Derselbe Versuch wurde mit einem Nickelstäbchen angestellt. Dieses Metall verliert, wie ich gezeigt habe[1]), seinen Magnetismus den gewöhnlichen Prüfungsmitteln gegenüber bei einer unter dem Siedepunkte des Oels liegenden Temperatur, und daher eignet es sich vortrefflich zu der Untersuchung, ob den magnetischen Metallen ihre Eigenschaft durch Wärme völlig entzogen werden könne oder nicht, und ebenso, ob die gesammte Kraft oder ein grösserer Bruchtheil derselben plötzlich oder allmählich verschwindet. Die Kleinheit der dem Versuche unterworfenen Masse war für die Entscheidung des letzteren Punktes besonders günstig. Bei Erwärmung wurde das Nickel gewöhnlichen Magneten gegenüber bald indifferent, dagegen vom Elektromagnet, wie hoch auch die Temperatur sein mochte, angezogen und pointirte gegen ihn hin. Die Kraft war sehr schwach, aber zweifellos vorhanden; die magnetische Wirkung war kaum hinreichend, die Nickelmasse zu tragen, aber sie zeigte sich vollkommen deutlich, wenn das Metall in der oben beschriebenen Weise aufgehängt war (2344).

2347. Wenn man das Erkaltenlassen des Nickels mit Sorgfalt bewerkstelligte, so zeigte sich auch hier, dass der Uebergang der magnetischen Kraft von einem Stärkegrade zu einem anderen allmählich und nicht plötzlich erfolgte. Beim Eisen ist es schwierig, die Temperatur sämmtlicher Theile, sei es beim Erwärmen, sei es beim Erkalten, so nahe gleich zu erhalten, um sicher zu sein, dass nicht aus dem Zusammenwirken heisserer und kälterer Theile scheinbar Magnetismus von mittlerer Stärke resultirt; beim Nickel ist es jedoch nicht so schwierig, weil der Process sich allmählicher vollzieht, so dass, wenn beim Erkalten die Kraft zu wachsen beginnt, die Abkühlung einige Zeit fortgesetzt werden kann, ehe die Kraft ihre volle Stärke erreicht. So oft während dieses Processes die Temperatur ein wenig gesteigert wurde, verminderte sich zwar die Kraft ein wenig, aber stets konnte ein das Minimum übersteigender Stärkegrad zurückgehalten

---

[1]) Philosophical Magazine, 1836, vol. VIII, p. 179, oder Experimental-Untersuchungen, vol. II, p. 197.

werden. Es war in der That leicht, das Nickel auf allen intermediären Stärkegraden zu *erhalten* und so jeden Zweifel an der allmählichen Annahme der vollen Kraftstärke auszuschliessen.

2348. Auf Grund des Umstandes, dass die magnetischen Metalle diese ihre Eigenschaften bei verschiedenen Temperaturen zu verlieren scheinen, habe ich die Meinung geäussert[1]), dass wahrscheinlich alle Metalle bei hinlänglich niedriger Temperatur ein gleiches Verhalten gegen den Magnetismus zeigen würden. Die eben erwähnten Thatsachen scheinen mir durchaus gegen diese Vermuthung zu sprechen. Die magnetischen Metalle behalten einen Theil dieser Kraft auch nachdem die grosse Umwandlung in den Zustand, den wir den diamagnetischen nennen dürfen, sich vollzogen hat, wogegen die anderen Metalle, wie Wismuth, Zinn u. s. w. keine Spur jener Eigenschaft zeigen, sich also auch nicht wie Eisen, Nickel oder Cobalt bei höherer Temperatur verhalten; denn während diese sich axial einstellen und angezogen werden, stellen jene sich äquatorial ein und werden abgestossen. Ich darf daher wohl die früher ausgesprochene Meinung zurückziehen.

2349. Ich untersuchte ferner die höheren Oxydationsstufen des Eisens und fand sie in Uebereinstimmung mit Becquerel's[2]) und Anderer Beobachtungen sämmtlich, die natürlich vorkommenden, wie die künstlich hergestellten, bei gewöhnlicher Temperatur magnetisch. Auch als ich sie in Röhren erhitzte, blieben sie magnetisch, und ich fand bei der Temperatur, welche ich anzuwenden in der Lage war, *keine* Verminderung der Kraft.

2350. Dasselbe Verhalten zeigten verschiedene Proben von Nickeloxyd. Sie waren in der Hitze sowohl als auch in der Kälte magnetisch; dass die Wärme in dieser Beziehung keine Aenderung verursachte, ist um so auffallender, als die Temperatur, auf welche das Oxyd gebracht wurde, weit höher war als diejenige, welche man dem Metall selbst ertheilen musste, um die grosse magnetische Wandlung hervorzurufen (2346).

2351. Das Cobaltoxyd war ebenfalls magnetisch und zwar gleich stark magnetisch in der Hitze wie in der Kälte. Durch Cobalt blau gefärbtes Glas ist in Folge des Gehalts an Oxyd dieses Metalles gleichfalls im heissen wie im kalten Zustande magnetisch. Die Stärke des in allen diesen Fällen zurückbehaltenen Magnetismus war im Vergleich zu der des reinen Metalles sehr gering.

2352. Die *Salze* des Eisens fand ich ebenfalls magnetisch. Reine Krystalle des Eisenvitriols wurden angezogen und stellten sich ganz deutlich axial ein; dasselbe that das trockene Salz. Weitere Versuche ergaben, dass jedes Salz und jede Verbindung, deren basischer Bestandtheil Eisen enthielt,

---

[1]) Philosophical Magazine, 1836, vol. VIII, p. 177; ibid. 1839, vol. XIV, p. 161; oder Experimental-Untersuchungen, vol. II. pp. 195, 200.

[2]) Annales de Chimie, 1827. vol. XXXVI, p. 337. Comptes Rendus, 1845, vol. XX, p. 1708.

magnetisch war. Es wäre ermüdend, die von mir dem Versuche unterworfenen Substanzen aufzuzählen; folgende Auswahl soll eine Vorstellung von der grossen Verschiedenheit der Natur derselben geben.

Chlorür,	Oxydulphosphat,
Chlorid,	Oxydphosphat,
Jodid,	Nitrat,
Oxydulsulphat,	Carbonat,
Oxydsulphat,	Berliner Blau.

2353. Von natürlichen Verbindungen waren

Raseneisenstein,	Schwefelkies,
Hämatit,	Arsenikkies,
Chromeisenstein,	Kupferkies und viele andere magnetisch. .

2354. Grünes Flaschenglas ist in Folge seines Eisengehaltes verhältnissmässig sehr stark magnetisch und man kann es daher nicht zu Röhren, die zur Aufnahme anderer Substanzen dienen sollen, benutzen. Aus demselben Grunde ist Crownglas magnetisch. Flintglas ist nicht magnetisch, sondern stellt sich äquatorial ein.

2355. Krystalle von gelbem Blutlaugensalz erwiesen sich nicht magnetisch, sondern wurden abgestossen und stellten sich äquatorial ein, und ebenso verhielt sich rothes Blutlaugensalz.

2356. Meiner Erwartung gemäss zeigten sich sowohl die wässerigen als auch die alkoholischen Lösungen von Eisensalzen gleichfalls magnetisch. Eine mit einer reinen Lösung von Ferro- oder Ferrisulphat, mit Eisenchlorür oder Eisenchlorid oder mit einer Tinctur von Ferrum muriaticum gefüllte Röhre wurde von den Polen angezogen und stellte sich zwischen ihnen ganz deutlich in axialer Richtung ein.

2357. Diese Lösungen sind ein wichtiges Hilfsmittel für die Förderung magnetischer Untersuchungen, denn sie setzen uns in den Stand, einen Magnet herzustellen, der zugleich flüssig, durchsichtig und innerhalb gewisser Grenzen fähig ist, jeden beliebigen Stärkegrad anzunehmen. Sie ermöglichen uns demnach die optische Untersuchung eines Magnets; sie setzen uns auch in den Stand, eine magnetische Substanz in die andere zu bringen und so dynamische und andere Erscheinungen innerhalb magnetischer Media zu beobachten. In der That, diese Substanzen können nicht nur als Magnete in das magnetische Feld gestellt, sondern das magnetische Feld kann in der Hauptsache von ihnen erfüllt und darin können andere Körper und andere Magnete für sich oder in ihrer vereinten Wirkung untersucht werden (2361 etc.).

2358. Von den Salzen des *Nickels* und *Cobalts* erwiesen sich reine Krystalle ihrer Sulphate magnetisch. Desgleichen zeigten sich Lösungen des Nickelsulphats, des Nickelchlorids und Cobaltchlorids magnetisch. Um hierbei vollkommen sicher zu sein, wandte ich mich an Askin in Birmingham,

dessen Geschicklichkeit, Nickel und Cobalt von einander und von anderen Metallen vollkommen zu trennen, wohlbekannt ist, und der diese Processe in grossem Massstabe ausführt, und erhielt von ihm vollkommen reine Lösungen von Nickelchlorid und Cobaltchlorid, die beide sich zwischen den Polen meines Magnets als gut magnetisch erwiesen.

2359. Erwärmung brachte weder eine Verminderung noch sonst eine Aenderung der magnetischen Eigenschaften dieser Lösungen hervor.

2360. Diese Resultate mit den Salzen der magnetischen Metalle scheinen im Verein mit den früher erwähnten zu zeigen, dass die nicht-magnetischen Metalle nicht durch irgend welche Temperaturänderung magnetisch werden könnten (2398), sondern eine von Eisen, Nickel und Cobalt unterschiedene Gruppe bilden; denn an keiner der Verbindungen der nicht-magnetischen Metalle liess sich bisher eine Spur von gewöhnlicher magnetischer Kraft wahrnehmen, während diese allen Verbindungen dieser drei Substanzen zukommt.

2361. Sowohl um zu erläutern, was die Eisenlösungen und andere gleichartige Lösungen für die Erforschung magnetischer Erscheinungen leisten (2357), als auch im Hinblick auf die aus allen in dieser Abhandlung beschriebenen Thatsachen gezogenen Schlüsse, will ich nun einige vorausgesagte Resultate mittheilen, welche ich mit diesen Lösungen im magnetischen Felde erhalten habe.

2362. Ich stellte mir eine klare Lösung von Eisenvitriol her, in welcher auf eine Unze der Flüssigkeit vierundsiebzig Gran der wasserhaltigen Krystalle kamen; eine zweite Lösung bestand aus einem Volumen der ersteren und drei Volumina Wasser; eine dritte aus einem Volumen der concentrirteren Lösung und fünfzehn Volumina Wasser. Das Verhältniss des krystallisirten Eisenvitriols in diesen Lösungen, welche ich durch die Ziffern 1, 2 und 3 unterscheiden will, betrug resp. 16, 4 und 1 Procent, welche Zahlen also (wenigstens im Allgemeinen (2423)) als ein Ausdruck für die Stärke des magnetischen Bestandtheils der Flüssigkeit angesehen werden können.

2363. Mit diesen Lösungen wurden Röhren wie die früher beschriebenen (2279) gefüllt und luftdicht verschlossen, wobei darauf geachtet wurde, dass möglichst wenig Luft darin zurückblieb. Auch Glasgefässe, die weit genug waren, um den Röhren darin ungehinderte Bewegung zu gestatten und doch von solcher Grösse und Gestalt, dass man sie zwischen die Magnetpole stellen konnte, wurden mit diesen Lösungen gefüllt. Auf diese Weise liess sich die Wirkung der magnetischen Kräfte auf die in den Röhren enthaltene Substanz untersuchen und beobachten, sowohl wenn sich die Röhren in diamagnetischen Medien, wie Luft, Wasser, Alkohol u. s. w., als auch, wenn sie sich in magnetischen Medien von stärkerer oder schwächerer magnetischer Kraft als die Substanzen in den Röhren befanden.

2364. Waren diese Röhren in Luft zwischen den Polen aufgehängt, so stellten sie sich, wie sich erwarten liess, sämmtlich axial oder wie Magnete

ein, und zwar mit einer Kraft, die anscheinend proportional war der Concentration der Lösung. In Alkohol oder Wasser eingetaucht, stellten sie sich gleichfalls in dieser Richtung ein; die stärkste Lösung sehr gut, ebenso die nächstfolgende, während die schwächste Lösung nur eine geringe Wirksamkeit zeigte, deren Natur jedoch ganz deutlich erkennbar war (2422).

2365. Sehr interessant war die Wirkung auf die Röhren, wenn sie in die verschiedenen Eisenlösungen eingetaucht waren, zu beobachten. Die Röhre 1 (die am stärksten magnetische) zeigte in einer Lösung 1 unter dem Einfluss der magnetischen Kräfte gar kein Bestreben, eine bestimmte Lage einzunehmen, sondern verharrte in der ihr einmal gegebenen Lage. In Lösung 2 stellte sie sich deutlich axial ein und ebenso in Lösung 3, nur mit noch grösserer Kraft.

2366. Die Röhre 2 stellte sich in Lösung 1 äquatorial ein, also wie schweres Glas, Wismuth, oder ein diamagnetischer Körper in Luft. In Lösung 2 war sie indifferent, nahm also keine bestimmte Lage ein, und in Lösung 3 stellte sie sich axial ein, also wie ein magnetischer Körper. Die Röhre 3 mit der schwächsten Lösung stellte sich in den Lösungen 1 und 2 äquatorial ein, während sie in Lösung 3 keine bestimmte Lage einnahm.

2367. Mehrere andere Eisenlösungen von verschiedener Concentration ergaben das allgemeine und beständige Resultat, dass eine Röhre, deren Lösung stärker war als die sie umgebende sich axial einstellte, dagegen äquatorial, wenn die in ihr enthaltene Lösung die schwächere war.

2368. Die Röhren wurden nun vertical aufgehängt, so dass sie in verschiedenen Lösungen dem einen Magnetpole näher als dem anderen gebracht werden und somit die Stelle des Würfels oder der Kugel von Wismuth oder schwerem Glase vertreten konnten (2266). Es ergab sich das beständige Resultat, dass die Röhre von dem Pole angezogen wurde wenn die Lösung in ihr stärker war als die umgebende, dass sie dagegen abgestossen wurde, wenn ihre Lösung die schwächere war. Diese letzteren Erscheinungen glichen in jeder Hinsicht denen, welche sich bei der Abstossung des schweren Glases, des Wismuths oder irgend eines anderen diamagnetischen Körpers in Luft zeigten.

2369. Eine nähere Erörterung der bisher beschriebenen Erscheinungen will ich bis zum letzten Abschnitt dieser Abhandlung verschieben und nun zu einigen Ergebnissen übergehen, welche mehr in den Bereich des vorliegenden Theiles dieser Untersuchungen fallen.

2370. Da die Verbindungen der magnetischen Metalle wie diese selbst durch magnetische Eigenschaften ausgezeichnet sind (2360), so hielt ich es für sehr wahrscheinlich, dass auf diesem Wege andere Metalle, von denen es zweifelhaft war, ob sie magnetisch seien, weil in den untersuchten Proben möglicherweise Eisen enthalten sein konnte, mit Sicherheit auf ihre magnetischen Eigenschaften geprüft werden könnten. Denn es war der Analogie nach wahrscheinlich, dass jedes Metall, das *an sich* magnetisch ist, auch

magnetische Verbindungen haben würde, und dass andererseits, wie sich aus dem Verhalten der grossen Gruppe der diamagnetischen Körper schliessen liess (2275), nichtmagnetische Metalle auch keine magnetischen Verbindungen ergeben würden. Demgemäss untersuchte ich viele Metallverbindungen nach diesem Prüfungsverfahren und erhielt folgende Resultate.

2371. *Titan.* — Wollaston hat das magnetische Verhalten von Titankrystallen beschrieben und dabei die Meinung geäussert, dass es von einem Eisengehalt herrühre.[1]) Ich unterwarf ein in einer Röhre (2279) eingeschlossenes Stück Titanoxyd, welches ich für vollkommen eisenfrei halte, der Wirkung des Elektromagnets (2246, 2247) und fand es zweifellos magnetisch. Ebenso erwies sich eine Probe, die ich von Johnson erhielt und die er für vollkommen eisenfrei hielt, als magnetisch. Ich schliesse daraus, dass Titan wirklich ein magnetisches Metall ist.

2372. *Mangan.* — Soviel ich weiss, hat zuerst Berthier angegeben, dass dieses Metall bei sehr niedrigen Temperaturen magnetisch sei.[2]) Indem ich Proben verschiedener Oxyde, die ich für rein hielt, den magnetischen Kräften aussetzte, fand ich sie sämmtlich magnetisch, insbesondere das Oxydul. Es waren folgende Manganverbindungen im reinen trockenen oder krystallisirten Zustande: Chlorid, Sulphat, Ammonium-Sulphat, Phosphat, Carbonat, Borat, sowie das Chlorid, Nitrat, Sulphat und Ammonium-Sulphat in Lösung. Eine Probe des Ammonium-Sulphats wurde durch Zusatz von etwas Ammoniumcarbonat alkalisch gemacht, gekocht und dann dreimal sorgfältig umkrystallisirt, hiernach zeigten sich die Krystalle und die Lösung des reinen Salzes vollkommen gut magnetisch. Ich zweifle daher nicht, dass Mangan, wie Berthier sagt, ein magnetisches Metall ist. Wenn man aus der Stärke des Magnetismus der Verbindungen einen Schluss auf die magnetische Kraft des Metalls ziehen darf, so würde ich glauben, dass diese beim Mangan bei hinlänglich niedriger Temperatur von beträchtlicher Stärke ist.[3])

2373. *Cer.* — Es ist mir nicht bekannt, dass das Cer bisher den magnetischen Metallen zugezählt worden wäre. Ich habe Versuche mit dem Oxydulhydrat, dem Carbonat und dem Chlorid dieses Metalles, sowie mit dem unter grosser Sorgfalt hergestellten Doppelsulphat des Oxyduls und des Kalis gemacht und diese Verbindungen sämmtlich magnetisch gefunden; die löslichen sind im gelösten Zustande magnetisch. Da also die Verbindungen zweifellos magnetisch sind, so habe ich allen Grund zu glauben, dass Cer gleichfalls ein magnetisches Metall ist (2370).

2374. *Chrom.* — Die magnetischen Erscheinungen der Chromverbindungen sind von grossem Interesse. Chromat und Bichromat des Kaliums wurde durch dreimaliges sorgfältiges Umkrystallisiren gereinigt, ein Theil des

---

[1]) Philosophical Transactions, 1823, p. 400.

[2]) Traité des Essais par la Voie Sèche, tom. I, p. 532. — Philosophical Magazine, 1845, vol. XXVII, p. 2 [oder weiter unten].

[3]) Philosophical Magazine, 1845, vol. XXVII, p. 2.

Bichromats in einem Platintiegel erhitzt, bis das zweite Aequivalent Chromsäure sich in das krystallisirte Oxyd verwandelt hatte, und dieses zeigte sich, nachdem es ausgewaschen und getrocknet war, gut magnetisch. Ebenso war es mit allen anderen von mir untersuchten Proben des Chromoxyds.

Eine Probe von Warrington's Chromsäure erwies sich sehr schwach magnetisch.

2375. Bleichromat sellte sich unter Einfluss des Magnets äquatorial ein und wurde abgestossen. Dasselbe war mit Krystallen von Kaliumchromat der Fall. Krystalle des Bichromats verhalten sich jedoch nicht so; denn sie zeigten sich, wenn sie überhaupt afficirt wurden, sehr schwach magnetisch, was den Einfluss des vermehrten Gehalts an Chromsäure beweist. Lösungen beider Salze stellten sich gut äquatorial ein und wurden abgestossen, was den diamagnetischen Einfluss des vorhandenen Wassers beweist (2422).

2376. Wie eben angegeben, stellte sich eine in einer Röhre enthaltene Lösung des Bichromats äquatorial ein und wurde abgestossen; wenn man aber dieser Lösung ein wenig Alkohol, sowie etwas reine Salzsäure oder Schwefelsäure zusetzte und sie so einige Minuten lang erhitzte, um die Säure zu Oxyd oder Chlorid zu reduciren, so zeigte sie sich, wieder in die Röhre zurückgebracht und dem Einfluss des Magnets ausgesetzt, stark magnetisch.

2377. Ich glaube, es ist schon früher behauptet worden, dass das Chrom ein magnetisches Metall sei; ich zweifle nicht länger, dass dies der Fall ist, nachdem vorstehende Resultate mit seinen reinen Verbindungen erhalten worden sind.

2378. *Blei.* — Die Bleiverbindungen stellen sich äquatorial ein und werden abgestossen. Ich untersuchte unter denselben das Chlorid, das Jodid, das Sulphid, das Nitrat, das Sulphat, das Phosphat, das Carbonat, das geschmolzene Oxyd und das Acetat. Ich löste etwas Nitrat, das ich sehr sorgfältig hatte krystallisiren lassen, fällte es durch reines Zink, und wusch das so erhaltene Blei, um basische Salze fortzuschaffen, mit verdünnter Salpetersäure aus. Dieses Blei zeigte keinen Magnetismus und daher reiht sein eigenes Verhalten und das seiner Verbindungen es der diamagnetischen Gruppe an. Gewöhnlich erscheint Blei magnetisch, und es ist nicht leicht, das Metall in dem reinen diamagnetischen Zustande zu erhalten.

2379. *Platin.* — Bisher habe ich noch kein bearbeitetes Stück frei von Magnetismus gefunden, auch nicht die von Wollaston selbst bereiteten und der Royal Society hinterlassenen Proben. Auch von Johnson erhaltene Proben des reinsten Platins zeigten sich schwach magnetisch.

2380. Blankes Platin in Form von Blech und Spänen wurde in reinem Königswasser gelöst und die Lösung zur Trockne verdampft. Diese Lösung sowohl als auch das trockene Chlorid stellten sich äquatorial ein und wurden vom Magnet abgestossen. Ein Theil des gelösten und sauer gemachten

Chlorids wurde durch eine saure Lösung von Chlorammonium gefällt und das Ammoniumplatinchlorid gewaschen und getrocknet; auch dieses stellte sich äquatorial zum Magnet und wurde abgestossen. Dagegen stellte sich Platinschwamm, welcher aus diesem Doppelchlorid durch Zersetzung in einer erhitzten Flintglasröhre hergestellt und zu einem Kuchen zusammengepresst wurde, *axial* ein und wurde an der Seite des Magnetpols angezogen, war also magnetisch.

2381. Gegenwärtig glaube ich, dass Platin ein magnetisches Metall ist, wiewohl in sehr geringem Grade, und dass in den Verbindungen die Zustandsänderung und das gleichzeitige Vorhandensein anderer Substanzen von diamagnetischem Charakter genügen, jene Eigenschaft zu verdecken und die Verbindung als Ganzes diamagnetisch erscheinen zu lassen (2422).

2382. *Palladium.* — Alles im Besitze der Royal Society befindliche von Wollaston präparirte Palladium, im Ganzen zehn Barren und gewalzte Bleche, ist magnetisch. Für rein gehaltene Stücke dieses Metalles von Johnson waren gleichfalls schwach magnetisch. Das Chlorid, dessen Verbindung mit Ammoniumchlorid und das Cyanid des Palladiums stellten sich äquatorial und wurden vom Magnet abgestossen. Aus diesem Cyanid durch Erhitzen in offenen Platingefässen oder in geschlossenen Glasröhren reducirtes Palladium zeigte schwach magnetische Eigenschaften. Etwas von Wollaston's Palladium wurde in reinem Königswasser gelöst und auf die Lösung liess man reines, eisenfreies nichtmagnetisches Zink einwirken; fünf Portionen des gefällten Metalls, die gesammelt wurden, erwiesen sich *sämmtlich magnetisch.* Aus derselben Lösung wurde durch reines Chlorammonium Ammoniumpalladiumchlorid dargestellt und in Königswasser digerirt. Das Salz selbst wurde abgestossen, war also diamagnetisch, aber das daraus durch Erhitzen in Glasröhren oder Berliner Porcellankapseln reducirte Palladium war magnetisch. Aus allen diesen Versuchsergebnissen schliesse ich, dass das Metall schwach, doch wahrhaft magnetisch ist.

2383. *Arsen.* — Dieses Metall erforderte eine ganz eigenthümliche Untersuchung; selbst wenn es zwei- bis dreimal nach einander sorgfältig sublimirt worden war, zeigte es Erscheinungen, welche mich veranlassten, es bald den magnetischen, bald den diamagnetischen Körpern einzureihen. Im Grossen und Ganzen neige ich zu der Meinung, dass es in diese letztere Körpergruppe gehört, dass es aber nur sehr wenig vom Null- oder Mittelpunkt entfernt steht. Reines weisses Arsen stellt sich ungezwungen in äquatorialer Richtung ein und wird vom Magnetpol abgestossen.

2384. In Bezug auf die Einstellung kurzer Stäbchen zwischen Magnetpolen mit grossen flachen Flächen muss ich bemerken, dass solche Stäbchen sich zuweilen axial einstellen und magnetisch zu sein scheinen, ohne es wirklich zu sein, und dass sie von einem Einzelpol abgestossen werden. Die Ursache dieser Erscheinung ist bereits angegeben worden (2298, 2299), und man beugt ihr durch Anwendung keilförmiger oder kegelförmiger Pole vor.

2385. *Osmium.* — Osmiumsäure von Johnson in feinen durchsichtigen Krystallen war deutlich diamagnetisch, da sie abgestossen wurde. Proben des Metalles und des Oxyduls waren schwach magnetisch. Das Oxydul wurde durch Einwirkung von Alkohol auf eine Lösung von Osmiumsäure, die zweimal mit Wasser destillirt worden war, dargestellt; das Metall wurde für vollkommen frei von anderen Substanzen gehalten. Wahrscheinlich gehört also Osmium in die magnetische Gruppe.

2386. *Iridium.* — Johnson versah mich mit einigen Iridiumpräparaten. Das Oxyd, Chlorid und Ammonium-Chlorid waren magnetisch, ebenso eine Probe des Metalles. Eine andere Probe, die sehr rein zu sein schien, zeigte sich kaum irgend magnetisch. Alles in Allem neige ich zu der Meinung, dass Iridium nicht in die magnetische Gruppe gehört.

2387. *Rhodium.* — Ein von Wollaston bereitetes, wohl geflossenes Stück dieses Metalles war magnetisch, aber Krystalle des Chlorids und dessen Verbindung mit Natriumchlorid, von demselben Physiker dargestellt, sowie andere von Johnson waren nicht magnetisch, sondern stellten sich deutlich äquatorial ein. Ich schliesse daher, dass das Metall nicht magnetisch ist, oder, wenn es magnetisch ist, nicht weit vom Nullpunkt entfernt steht.

2388. *Uran.* — Uranoxyd zeigte sich nicht magnetisch, Uranoxydul sehr schwach; ich reihe das Metall einstweilen der diamagnetischen Gruppe an.

2389. *Wolfram.* — Ich untersuchte das Oxyd dieses Metalles und die Säure und sah beide sich äquatorial einstellen. Die Säure wurde von einem einzelnen Magnetpol entschieden abgestossen, das Oxyd schien nahezu neutral zu sein. Ich halte daher das Wolfram einstweilen für ein diamagnetisches Metall.

2390. *Silber* ist nicht magnetisch (2291), ebensowenig seine Verbindungen.

2391. *Antimon* ist nicht magnetisch (2291), auch seine Verbindungen sind es nicht.

2392. *Wismuth* ist nicht magnetisch (2291), ebensowenig seine Verbindungen.

Nachdem ich viele Verbindungen eines jeden dieser drei Metalle untersucht habe, ist es wohl am Platze, an die Uebereinstimmung zwischen ihnen und ihren Metallbasen (2370) zu erinnern.

2393. *Natrium.* — Eine schöne grosse Kugel, einen halben Kubikzoll gross, wurde deutlich abgestossen, ist also diamagnetisch.

2394. *Magnesium.* — Alle seine Verbindungen oder Salze sind unmagnetisch.

2395. Alle Verbindungen oder Salze von

Calcium,	Natrium,
Strontium,	Kalium,
Barium,	Ammonium

sind unmagnetisch.

2396. Aus dem Verhalten der Verbindungen, sowohl als aus dem mancher Metalle selbst scheint demnach hervorzugehen, dass ausser Eisen, Nickel und Cobalt auch folgende Metalle magnetisch sind: Titan, Mangan, Cer, Chrom, Palladium, Platin. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass es noch Metalle giebt, welche magnetische Eigenschaften besitzen, aber in so geringem Grade, dass sie, wie Platin und Palladium, in ihren Verbindungen keine merkliche Spur davon aufweisen. Dies mag bei Wolfram, Uran, Rhodium u. a. der Fall sein.

2397. Mehrere der diamagnetischen Metalle habe ich bis zu ihrem Schmelzpunkte erhitzt, ohne eine Aenderung in der Art oder dem Grade ihres magnetischen Verhaltens wahrnehmen zu können.

2398. Vielleicht würde bei einigen Metallen, deren Verbindungen, gleich denen des Eisens, Nickels und Cobalts magnetisch sind, Abkühlung weit stärkeren Magnetismus in die Erscheinung rufen, als man bisher an ihnen kennt. In dieser Hinsicht sind Mangan, Chrom, Cer und Titan Metalle von vielem Interesse. Osmium, Iridium, Rhodium, Uran verdienten mit ihnen demselben Versuche unterworfen zu werden.

2399. Folgendes ist ein Versuch, einige der Metalle hinsichtlich ihrer magnetischen Kraft in eine Reihe zu ordnen. Als Null- (0^0) oder Mittelpunkt betrachte ich das indifferente Verhalten eines Metalles oder sonst einer Substanz gegen magnetische Kräfte, insofern dieselben sich in Anziehung oder Abstossung in Luft oder im leeren Raume äussern. Je weiter eine Substanz von diesem Punkte entfernt steht, desto entschiedener zeigt sie Anziehung oder Abstossung durch den Magnet. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass diese Reihe sich bei sorgfältigerer Beobachtung als ungenau erweisen wird.

Magnetisch:	Diamagnetisch:
Eisen,	Wismuth,
Nickel,	Antimon,
Cobalt,	Zink,
Mangan,	Zinn,
Chrom,	Cadmium,
Cer,	Natrium,
Titan,	Quecksilber,
Palladium,	Blei,
Platin,	Silber,
Osmium.	Kupfer,
	Gold,
	Arsen,
	Uran,
	Rhodium,
	Iridium,
	Wolfram.

0^0

VI. Wirkung von Magneten auf Luft und Gase.

2400. Es war unmöglich, in einer Experimentaluntersuchung wie die eben beschriebene vorzurücken, ohne mannigfache theoretische Vorstellungen über die Wirkungsweise der die Erscheinungen hervorrufenden Körper zu bilden. Bei Erwägung dieser Vorstellungen war der anscheinende Mittelzustand, den die *Luft* zwischen magnetischen und diamagnetischen Substanzen einnahm, von höchstem Interesse und führte mich zu vielen Versuchen über ihren wahrscheinlichen Einfluss, die ich nun kurz beschreiben will.

2401. Eine dünne Flintglasröhre, in welcher gewöhnliche Luft hermetisch eingeschlossen war, wurde in freier Luft zwischen die Magnetpole (2249) gestellt und die Wirkung der magnetischen Kraft auf sie beobachtet. Die Röhre zeigte ein geringes Bestreben, sich äquatorial zu stellen, was von der Substanz der Röhre, in welcher die Luft eingeschlossen war, herrührte.

2402. Hierauf wurde die Luft aus der Umgebung der Röhre mehr oder weniger fortgeschafft, zuletzt so weit als es durch eine gute Luftpumpe möglich war; allein wie weit man auch die Verdünnung treiben mochte, die Wirkung auf die Röhre mit Luft schien genau dieselbe zu sein, wie wenn sie von Luft von gleicher Dichte umgeben war.

2403. Ich umgab alsdann die mit Luft gefüllte Röhre nach einander mit Wasserstoff und Kohlensäure, aber sie blieb auch in diesen Gasen bei verschiedenen Dichtigkeitsgraden ebenso indifferent wie zuvor.

2404. Hieraus geht also hervor, dass zwischen dichter und verdünnter Luft, oder so weit die Versuche reichen, zwischen einem Gase oder Dampfe und einem anderen kein merklicher Unterschied besteht.

2405. Da es nicht unwahrscheinlich schien, dass die äquatoriale und axiale Stellung der Körper oder deren Abstossung und Anziehung auf entgegengesetzten Wirkungen der sie umgebenden Media beruhen könnte (2361), so untersuchte ich nunmehr, was geschehen würde, wenn man die Dichtigkeit der diamagnetische Substanzen umgebenden Luft oder des sie umgebenden Gases oder dessen Natur änderte, oder was geschehen würde, wenn die Luft selbst von diesen Substanzen umgeben wäre.

2406. Die Röhre mit Luft (2401) wurde in Wasser horizontal aufgehängt (sie wurde durch einen Wismuthwürfel, der unmittelbar unter dem Aufhängungspunkt befestigt war, also keine Richtkraft auf dieselbe ausüben konnte, unter der Oberfläche gehalten); den magnetischen Kräften ausgesetzt, stellte sie sich augenblicklich in axialer Richtung oder wie ein Magnet ein. Einem der Pole genähert, bewegte sie sich bei Erregung des Magnetismus so, dass sie wie ein magnetischer Körper *angezogen* zu werden schien; dies dauerte so lange, als man die Magnetkraft in Thätigkeit liess.

2407. Ganz dasselbe Verhalten, wie in der Umgebung von Wasser zeigte die Luft enthaltende Röhre in der Umgebung von Alkohol und

Terpentinöl unter dem Einfluss der Magnetkraft. In allen diesen Fällen verhielt sich die Luft in den Flüssigkeiten gerade so wie ein magnetischer Körper in Luft. Auch unter einer Quecksilberoberfläche stellte sich die Luftröhre, wenn der Magnet erregt war, axial ein.

2408. Um die Versuche über Luft und Gase noch weiter auszudehnen, brachte ich nunmehr diamagnetische Substanzen in dieselben. So hängte ich das Stäbchen von schwerem Glase (2253) in einer Flasche mit Luft auf und verdünnte die Luft mehr oder weniger, aber derartige Aenderungen waren ebenso wie früher bei der Luftröhre (2402) ohne Folgen. Gleichviel ob das Stäbchen sich in Luft von gewöhnlichem Drucke oder von solcher Verdünnung, als mit der Pumpe zu erreichen war, befand, es stellte sich dennoch äquatorial, und anscheinend immer mit derselben Kraft.

2409. Auch in dem Verhalten des Wismuthstäbchens (2296), das in der Flasche aufgehängt war, brachten die Dichtigkeitsänderungen der Luft keinen Unterschied der Art oder dem Grade nach hervor. Die Resultate blieben auch dieselben, als nach einander Kohlensäure und Wasserstoff in verschiedenen Dichtigkeitsgraden in die Flasche eingeführt wurden; in dem Verhalten des Wismuths trat keine Aenderung ein.

2410. Ein Wismuthwürfel wurde in Luft und Gasen von gewöhnlichem Druck oder möglichster Verdünnung aufgehängt und dem Magnetpole genähert, um seine Abstossung unter diesen Umständen zu beobachten; er verhielt sich in allen diesen Fällen ganz so wie in der Atmosphäre.

2411. Der Kupferstab wurde lothrecht (2323) neben dem Magnetpole *im Vacuum* aufgehängt, aber seine Einstellung, seine gedämpften Bewegungen und der Rückstoss waren genau so wie früher in Luft (2324).

2412. Röhren (2401), die luftleer oder mit Luft, Wasserstoff, Kohlensäure, schwefligsaurem Gas und Aetherdampf gefüllt waren, wurden, von Wasser umgeben, der Magnetkraft ausgesetzt und stellten sich sämmtlich axial, und soweit ich beurtheilen konnte, mit gleicher Kraft. In der Umgebung von Alkohol war der Erfolg derselbe.

2413. In der Umgebung von Luft oder Kohlensäure stellten sich jene Röhren äquatorial.

2414. Die axiale Stellung der Röhren in der Flüssigkeit (2412) beruht ohne Zweifel auf dem Verhalten des Inhalts der Röhre zum umgebenden Medium; denn die Substanz der Röhre für sich würde die äquatoriale Lage einzunehmen gesucht haben. Die äquatoriale Einstellung bei den diesen folgenden Versuchen (2413), wo die mit Gasen gefüllten Röhren von Gasen umgeben waren, zeigt eben diesen Einfluss des Glases der Röhre; und dass dieser zwar schwache aber beständige Effect von allen Abänderungen der Gase und Dämpfe ungestört bleibt, ist ein Beweis, wie gleich und wie indifferent gegen einander sich diese verhalten.

2415. Eine Röhre mit flüssiger schwefliger Säure in Schwefligsäuregas stellte sich unter Einfluss des Magnetes äquatorial; ebenso stellte sich flüssige

salpetrige Säure in der Umgebung von gasförmiger salpetriger Säure äquatorial; dasselbe that flüssiger Aether in Aetherdampf. Dagegen stellte sich eine Röhre mit Aetherdampf in flüssigem Aether axial ein.

2416. Bei jeder Art und Form des Versuches nehmen also die Gase und Dämpfe eine mittlere Stellung zwischen den magnetischen und diamagnetischen Körpern ein. Ferner verhalten sich diese Substanzen bei aller Verschiedenheit ihrer chemischen oder anderer Eigenschaften, ihres specifischen Gewichtes, ihrer Verdünnung in magnetischer Beziehung sämmtlich gleich und anscheinend genau so wie ein vollkommenes Vacuum. Körper, welche ausgezeichnet diamagnetisch sind, verlieren sofort jede Spur dieser Eigenschaft, sobald sie dampfförmig werden (2415). Es würde ausserordentlich interessant sein zu wissen, ob ein Körper aus der magnetischen Gruppe, wie etwa Eisenchlorür, dieselbe Aenderung erleiden würde.

VII. Allgemeine Betrachtungen.

2417. Dies sind die Thatsachen, welche im Verein mit den Lichterscheinungen eine uns bisher unbekannte magnetische Wirkung oder Eigenschaft der Materie darthun. Diese Wirkung besteht darin, dass ein längliches Stück einer hierher gehörigen Substanz sich gewöhnlich (2253, 2384) rechtwinkelig zu den magnetischen Kraftlinien stellt, und dieses Ergebniss lässt sich auf die einfachere Wirkung einer Abstossung der Substanz durch beide Magnetpole zurückführen. Die Einstellung des länglichen Stückes oder die Abstossung der ganzen Masse dauert so lange als die Magnetkraft dauert, um zugleich mit deren Verschwinden aufzuhören.

2418. Indem diese neue Kraft sich äussert, kann der bewegliche Körper entweder *längs* den magnetischen Linien oder *quer* zu ihnen gehen, und zwar längs oder quer in beiden Richtungen, so dass zwei gleichzeitig dieser Kraft unterliegende Stücke der Substanz veranlasst werden können ,sich einander zu nähern, als ob sie angezogen würden, oder sich von einander zu entfernen, als ob sie abgestossen würden. Alle diese Erscheinungen lassen sich darauf zurückführen, dass eine solche Substanz unter dem Einfluss der Magnetkraft von Orten oder Punkten stärkerer Kraft zu Punkten schwächerer Kraft zu gehen strebt. Ist die Substanz auf allen Seiten von magnetischen Kraftlinien gleicher Intensität umgeben, so hat sie kein Bestreben, sich zu bewegen, befindet sich demnach in diesem Falle in auffallendem Gegensatze zu einem linearen Elektricitätsstrome unter denselben Umständen.

2419. Dieses Verhalten und diese Erscheinung ist neu; nicht *bloss* was die Aeusserung einer Kraft des Magnets auf Körper betrifft, die man früher für indifferent gegen ihn hielt, sondern auch *neu* als magnetische Wirkung für sich, indem wir hiermit eine zweite Art, wie die Magnetkraft ihren Einfluss äussert, kennen lernen. Diese beiden Arten stehen in derselben allgemeinen antithetischen Beziehung zu einander wie Positiv und Negativ

bei der Elektricität, oder wie Nordpolarität und Südpolarität, oder wie die Linien elektrischer und magnetischer Kraft bei der Magnetoelektricität; und die diamagnetischen Erscheinungen sind um so wichtiger, als sie jenen Charakter der Dualität, welcher von der magnetischen Kraft in gewissem Grade bereits bekannt war, bedeutend und in einer neuen Richtung erweitern.

2420. Die Materie scheint der magnetischen Kraft ebenso allgemein unterworfen zu sein, wie der Schwerkraft, den elektrischen, den chemischen oder Cohäsionskräften. Denn eine Substanz, die nicht eine magnetische Einwirkung gewöhnlicher Art erfährt, wird in der nun beschriebenen Weise afficirt, wenn sie sich im festen oder flüssigen Zustande befindet. Hiernach scheinen die Substanzen in zwei grosse Gruppen zu zerfallen, in die magnetische und in die, welche ich diamagnetisch genannt habe; zwischen diesen Gruppen ist der Gegensatz, obwohl graduell verschieden, so gross und scharf, dass, wo eine Substanz der einen Gruppe angezogen wird, ein Körper der anderen Gruppe abgestossen wird, und wo die eine Substanz in Stabform eine gewisse Lage einnimmt, eine andere gleichfalls in Stabform eine zu dieser rechtwinkelige Lage einnimmt.

2421. Bisher habe ich noch keinen einzigen festen oder flüssigen Körper gefunden, der, vorausgesetzt, dass er nicht aus einem Gemenge besteht, in Bezug auf jene beiden Körperreihen sich vollkommen neutral verhielte, d. h. in Luft weder angezogen noch abgestossen würde. Es würde für die Betrachtung der magnetischen Wirkung wahrscheinlich wichtig sein, zu wissen, ob es in der Natur einen einfachen Körper giebt, der im festen oder flüssigen Zustande dieses Verhalten besitzt. Unter zusammengesetzten oder aus einem Gemische bestehenden Körpern mag es deren viele geben, und da es für den Fortschritt der experimentellen Untersuchung von Wichtigkeit ist, so will ich auseinandersetzen, nach welchen Principien ich eine solche Substanz, wenn sie als umgebendes Medium gebraucht werden sollte, dargestellt habe.

2422. Offenbar sind die magnetischen und diamagnetischen Körper hinsichtlich ihrer dynamischen Wirkungen einander entgegengesetzt, und daher lässt sich aus einer gehörigen Mischung von Körpern aus beiden Gruppen eine Substanz von jedem intermediären Grade einer jeden dieser Eigenschaften herstellen. Eisenvitriol gehört zur magnetischen, Wasser zur diamagnetischen Gruppe, und es war mir ein Leichtes, aus diesen Substanzen eine Lösung herzustellen, welche in der Luft weder angezogen, noch abgestossen, noch gerichtet wurde. Von Wasser umgeben, stellte sich diese Lösung axial. Wurde sie durch Wasserzusatz etwas verdünnt, so stellte sie sich in Wasser axial, aber in Luft äquatorial, und je nachdem man mehr Eisenvitriol oder mehr Wasser zusetzte, konnte man sie in die magnetische oder in die diamagnetische Gruppe überführen.

2423. So erhielt man ein *flüssiges* Medium, welches praktisch, soviel ich sehen kann, ganz den magnetischen Charakter und Erfolg hat wie ein

Gas und selbst wie ein Vacuum. Da wir ferner sowohl magnetisches als auch diamagnetisches Glas haben (2354), so ist es offenbar möglich, auch eine *starre* Substanz von demselben magnetisch neutralen Charakter herzustellen.

2424. Bei dem gegenwärtigen unvollkommenen Stande unserer Kenntnisse würde ein Versuch, eine alle Substanzen umfassende Reihe aufzustellen, sehr verfrüht sein; die untenstehende soll daher nur den Zweck haben, eine Vorstellung zu geben von der sonderbaren Ordnung, welche die Körper in Bezug auf die magnetische Kraft einnehmen, und um mich später ohne Weiteres darauf zu berufen:

Eisen,
Nickel,
Cobalt,
Mangan,
Palladium,
Crownglas,
Platin,
Osmium,
0^0 Luft und Vacuum,
Arsen,
Aether,
Alkohol,
Gold,
Wasser,
Quecksilber,
Flintglas,
Zinn,
Schweres Glas,
Antimon,
Phosphor,
Wismuth.

2425. Es ist sehr interessant, zu bemerken, dass an den Enden der Reihe Metalle stehen, die also unter allen Körpern in ihrem magnetischen Verhalten einander am stärksten entgegengesetzt sind. Es ist auch ein sehr merkwürdiger Umstand, dass gerade Eisen und Wismuth am weitesten vom Mittelzustande entfernt, an den Enden der Reihe stehen, also Metalle, welche ein geringes elektrisches Leitungsvermögen besitzen. Zugleich muss sich der *Gegensatz* zwischen diesen Metallen hinsichtlich ihrer faserigen und körnigen Structur, ihrer Hämmerbarkeit und Sprödigkeit aufdrängen, wenn man über den möglichen Zustand ihrer Molecüle unter Einwirkung der Magnetkraft nachdenkt.

2426. In Bezug auf die Metalle sowohl, als auch in Bezug auf die

nicht zu dieser Körperklasse gehörigen Diamagnetica (2286) gewährt es eine Genugthuung, der Ansicht, dass alle Körper wie das Eisen magnetisch seien, eine andere entgegenstellen zu können, die keine einfache Negation der ersteren ist, sondern vielmehr Beweise liefert, dass sie sich in einem anderen und entgegengesetzten Zustande befinden und im Stande sind, einen sehr bedeutenden Grad von magnetischer Kraft aufzuwiegen (2448).

2427. Wie bereits bemerkt, ist die Verschiedenheit der Wirkung der magnetischen Kräfte auf magnetische und diamagnetische Körper eine so in die Augen fallende, dass sie, während sie auf die einen Anziehung ausüben, bei den anderen Abstossung hervorrufen, und wir können dies nicht anders erklären, als durch irgend eine Wirkung auf die Molecüle oder die Masse der ihrem Einflusse ausgesetzten Substanzen, wodurch dieselben in verschiedene Zustände gerathen und demgemäss afficirt werden. Unter diesem Gesichtspunkte ist ein Vergleich der Erscheinungen mit denen, welche ein polarisirter Lichtstrahl darbietet, sehr überraschend, besonders da sich dann eine merkwürdige Verschiedenheit herausstellt. Wenn man nämlich aus den beiden Klassen durchsichtige Körper nimmt, beispielsweise schweres Glas oder Wasser aus der diamagnetischen und ein Stück grünes Glas oder Eisenvitriollösung aus der magnetischen Klasse, so wird eine gegebene magnetische Kraftlinie Abstossung der einen und Anziehung der anderen bewirken, aber dieselbe Kraftlinie, welche auf die Theilchen so verschiedenartig wirkt, afficirt den diese durchsetzenden polarisirten Lichtstrahl in beiden Fällen genau in *derselben* Weise; denn beide Körper drehen ihn in *derselben* Richtung (2160, 2199, 2224).

2428. Diese Betrachtung wird noch wichtiger im Zusammenhang mit den diamagnetischen und den optischen Eigenschaften der Körper, welche einen polarisirten Lichtstrahl drehen. So haben eine Eisenlösung und ein Stück Quarz das Vermögen, einen Lichtstrahl zu drehen, aber wiewohl unter dem Einfluss *derselben* magnetischen Kraftlinie die eine sich axial, der andere sich äquatorial einstellt, ist doch die Drehung, die ein Lichtstrahl in diesen beiden Körpern erfährt, unter dem Einfluss derselben magnetischen Kraft für beide *dieselbe*. Ferner ist diese Drehung ganz unabhängig von der des Quarzes und ihr in einem sehr wichtigen Punkte ganz ungleich; denn für sich kann der Quarz den Lichtstrahl nur in einer Richtung drehen, aber unter dem Einfluss der magnetischen Kraft kann er ihn sowohl rechts als links drehen, je nach dem Lauf des Strahles (2231, 2232). Nimmt man zwei Stücke Quarz (oder zwei Röhren mit Terpentinöl)', welche den Strahl *entgegengesetzt* drehen können, so ist ihre unter der Herrschaft des Magnetismus hinzutretende Drehungskraft stets in *demselben* Sinne gerichtet, und diese Richtung kann in beiden Quarzkrystallen nach rechts oder nach links gehen. Indessen bleibt der *Gegensatz* zwischen dem Quarz als einem diamagnetischen und der Eisenlösung als einem magnetischen Körper stets unverrückt bestehen. Gewisse aus diesen Gegensätzen entspringende Be-

trachtungen über die Beschaffenheit eines Lichtstrahls, die sich mir aufdrängen, hoffe ich der Gesellschaft vorzulegen, sobald ich Zeit gefunden haben werde, sie experimentell zu prüfen.

2429. Theoretisch dürfte sich eine Erklärung der Bewegungen der diamagnetischen Körper und aller aus den Wirkungen der Magnete auf sie entspringenden dynamischen Erscheinungen in der Annahme darbieten, dass die magnetische Induction in ihnen einen dem in magnetischen Substanzen entgegengesetzten Zustand hervorruft, d. h. dass, wenn man ein Theilchen von jeder dieser Substanzen in das magnetische Feld bringt, beide magnetisch werden, und jedes seine Axe parallel zu der durch sie gehenden Resultirenden der magnetischen Kraft habe, aber das Theilchen magnetischer Substanz seinen Nordpol und seinen Südpol den entgegengesetzten Polen des inducirenden Magnets zuwende, während es bei den diamagnetischen Theilchen gerade umgekehrt sei. Dadurch würde dann eine Annäherung der einen Substanz und ein Zurückweichen der anderen erfolgen.

2430. Nach Ampère's Theorie würde diese Vorstellung der Annahme gleichkommen, dass, während im Eisen und den magnetischen Metallen Ströme inducirt werden, die denen im inducirenden Magnet oder dem Batteriedraht gleichgerichtet sind, im Wismuth, schweren Glase und in den anderen diamagnetischen Körpern Ströme von entgegengesetzter Richtung inducirt werden. Hiernach würden die Ströme in Diamagneticis dieselbe Richtung haben wie diejenigen, welche bei *Schliessung* des inducirenden Stromes in diamagnetischen Leitern inducirt werden, und die Ströme in magnetischen Körpern dieselbe Richtung, wie die, welche beim *Verschwinden* desselben inducirenden Stromes erregt werden. Die nichtleitenden magnetischen und diamagnetischen Körper würden keine Schwierigkeit darbieten, da die hypothetischen Ströme nicht in der Masse, sondern rings um die Theilchen der Substanz angenommen werden.

2431. So weit die Erfahrung bis jetzt auf eine solche Vorstellung hinweist, sehen wir, dass die bekannten Inductionswirkungen auf Massen von magnetischen und diamagnetischen Metallen *dieselben sind*. Wenn ein gerader Eisenstab quer durch die magnetischen Kraftlinien geführt wird, oder wenn er oder Stäbe oder Draht von Eisen in Spiralform in der Nähe eines Magnets gehalten werden, so werden, wenn dessen Magnetismus sich verstärkt, elektrische Ströme inducirt, die sich durch die Stäbe oder Spirale in gewissen bestimmten Richtungen bewegen (38, 114 etc.). In einem Stabe oder einer Spirale von Wismuth werden unter denselben Umständen ebenfalls Ströme ganz in demselben Sinne wie im Eisen inducirt; ein Unterschied in der Richtung des inducirten Stromes ist also nicht vorhanden, und auch hinsichtlich der Stärke ist er nicht gross, wenigstens bei weitem nicht so gross als zwischen dem in einem dieser Metalle und in einem anderen, das dem neutralen Punkte (2399) nahe steht, inducirten Strome. Dennoch bleibt zwischen dem dem Versuche zugänglichen und dem hypothetischen

Falle der Unterschied bestehen, dass in dem ersteren die Induction sich durch Ströme in den Massen äussert, während in dem letzteren, d. h. in den magnetischen und diamagnetischen Erscheinungen als solchen, die Ströme, wenn sie existiren, wahrscheinlich die Theilchen der Materie umkreisen.

2432. Das magnetische Verhalten der luftförmigen Körper ist ungemein merkwürdig. Dass Sauerstoff oder Stickstoff in der Mitte steht zwischen der magnetischen und diamagnetischen Körpergruppe; dass er eine Stelle einnimmt, die *kein* starrer oder flüssiger Körper einnehmen kann; dass sein Verhalten sich bei keinem Verdünnungsgrade ändert, dass es sogar dasselbe ist, wie das eines Vacuums; dass es mit allen anderen Gasen und Dämpfen in magnetischer Hinsicht ebenso ist; dass sie nicht am Ende, sondern gerade in der Mitte der grossen Körperreihe stehen; dass alle Gase oder Dämpfe von dem leichtesten, dem Wasserstoff, bis zu den specifisch schwersten, Kohlensäure, Schwefligsäuregas, Aetherdampf, sich gleich verhalten, — all dies ist so auffallend, dass man die Ueberzeugung gewinnt, dass die Luft in der Anordnung der natürlichen und insbesondere der terrestrischen magnetischen Kräfte eine bedeutende und am Ende thätige Rolle spielt.

2433. Früher glaubte ich, Luft und Gase, Körper, die man ohne Zusatz verdünnen kann, würden entsprechende Aenderungen ihrer magnetischen Eigenschaften aufweisen; allein thatsächlich scheint die Verdünnung hierauf gar keinen Einfluss zu haben, und wiewohl sich ein flüssiges Medium, welches mit anderen Körpern wie Luft wirkt, leicht herstellen lässt (2242), so ist das Verhalten gegen erstere doch in Wahrheit nicht dasselbe; denn es gestattet keine Verdünnung, da ein Zusatz von Wasser nur den Erfolg hat, die diamagnetische Kraft der Flüssigkeit zu vergrössern; und wenn man diese in Dampf verwandeln und somit durch Wärme verdünnen könnte, so würde sie eben in die Klasse der Gase übergehen und sich in magnetischer Hinsicht von den übrigen Gasen nicht unterscheiden.

2434. Auch das anscheinende Verschwinden des magnetischen Zustandes und Effectes beim Uebergange der Körper in den dampf- oder gasförmigen Aggregatzustand ist im Hinblick auf das ähnliche Verhalten gegen das Licht sehr merkwürdig; denn bisher hat sich noch keine magnetische Einwirkung eines Gases oder Dampfes auf polarisirtes Licht erkennen lassen, selbst nicht bei Anwendung von Kräften, die weit mehr als ausreichend sind, um eine derartige Wirkung in flüssigen oder festen Körpern frei zu äussern.

2435. Ob die negativen Resultate mit Gasen und Dämpfen der geringeren Masse in einem gegebenen Volumen zuzuschreiben, oder ob sie unmittelbare Folgen des geänderten physikalischen Zustandes der Substanz seien, ist für die Theorie des Magnetismus eine Frage von sehr grosser Wichtigkeit. Zur Aufhellung derselben habe ich einen Versuch mit

Cagniard de la Tour's Aetherröhren ersonnen, aber ich bin gefasst, bei seiner Ausführung auf grosse Schwierigkeit zu stossen, hauptsächlich wegen der Stärke und also der Masse, welche die Röhre haben muss, um der Expansion des eingeschlossenen erhitzten Aethers zu widerstehen.

2436. Vermöge des merkwürdigen Zustandes der Luft und ihres Verhaltens zu den Körpern der magnetischen und diamagnetischen Klasse stellt sie sich in den ersteren äquatorial, in den letzteren axial. Oder wenn man den Versuch so einrichtet, dass die Wirkung sich in Anziehung und Abstossung äussert, so bewegt sich die Luft in einem magnetischen Medium, wie wenn sie abgestossen, und in einem diamagnetischen, wie wenn sie angezogen würde. Hiernach hat es den Anschein, als ob die Luft im Vergleich zu diamagnetischen Substanzen magnetisch, und mit magnetischen verglichen diamagnetisch wäre.

2437. Dieses Ergebniss habe ich durch die Annahme erklären zu können geglaubt, dass Wismuth und seine Gefährten von den Magnetpolen absolut abgestossen werden und dass das Wismuth, wenn an den Erscheinungen nichts Anderes als dieses und der Magnet Theil hätte, gleichfalls abgestossen werden würde. Ebenso habe ich auch beim Eisen und den ihm analogen Substanzen angenommen, dass die Anziehung eine unmittelbare Folge der Wechselwirkung zwischen ihnen und dem Magnet sei. Diese Vorgänge schienen mir auch die axiale Einstellung der Luft einerseits und die äquatoriale andererseits, sowie auch ihre scheinbare Anziehung und Abstossung hinreichend zu erklären, indem ich die Erscheinungen in diesen Fällen darauf zurückführte, dass die Luft in die Lagen wandert, welche die magnetischen oder diamagnetischen Körper verlassen.

2438. Die Erscheinungen bei der Luft sind jedoch in diesen Fällen genau dieselben wie die bei Eisenlösungen von verschiedener Concentration (2365), welche *sämmtlich* zur magnetischen Körperklasse gehören, und bei denen die Erscheinungen offenbar von dem grösseren oder geringeren Maasse der magnetischen Kraft der Lösungen bedingt waren. Eine schwache Lösung stellte sich innerhalb einer stärkeren äquatorial und wurde wie ein Diamagneticum abgestossen, nicht weil sie nicht der Anziehung folgend eine axiale Lage einzunehmen suchte, sondern weil sie in dieselbe mit geringerer Kraft zu gelangen strebte, als die sie umgebende Substanz. Demnach drängt sich die Frage auf, ob die Abstossung der Diamagnetica und deren äquatoriale Einstellung in der Luft einen anderen Grund hat als den, dass die Luft stärker magnetisch ist als jene und also die axiale Lage einzunehmen strebt. Es ist leicht einzusehen, dass, wenn alle Körper in verschiedenem Grade magnetisch wären, also eine einzige grosse Reihe bildeten, in deren Mitte Luft stände, die Erscheinungen gerade so sein würden, wie sie wirklich sind. Jeder Körper aus dem mittleren Theil der Reihe würde sich in den über ihm in derselben stehenden Körpern äquatorial und in den unter ihm stehenden axial stellen; denn die Substanz, welche wie Wismuth

von einem Punkte stärkerer zu einem Punkte schwächerer Wirkung geht, thut dies am Ende nur deshalb, weil die andere Substanz, welche sich an dem Ort der schwachen Wirkung befindet, nach dem Ort der starken Wirkung zu gelangen strebt, gerade so wie bei der elektrischen Induction die Körper, die am besten geeignet sind, die Kraft fortzuführen, in die kürzeste Wirkungslinie gezogen werden. Und so wird Luft in Wasser oder selbst unter Quecksilber zum Magnetpol hingezogen oder scheint es zu werden.

2439. Allein wenn diese Ansicht richtig ist und Luft in der That Eigenschaften besitzt, die ihr die Stelle in der Mitte der anderen Substanzen anweisen, so sollte man erwarten, dass Verdünnung ihre Stelle ändern, dass sie hierdurch etwa mehr diamagnetisch werden oder jedenfalls eine andere Stelle in der Reihe einnehmen würde. Wenn dies der Fall wäre, so müssten Körper, welche sich bei dem einen Dichtigkeitszustande derselben in ihr äquatorial einstellen, bei einem anderen ihre Lage ändern und sich schliesslich axial stellen; allein dies thuen sie nicht, und die verdünnte Luft behält ihre Stelle, man mag sie mit den magnetischen oder den diamagnetischen Körpern oder selbst mit dichterer Luft vergleichen.

2440. Aus dieser Ansicht würde auch folgen, dass der leere Raum magnetisch ist und zwar genau so stark wie Luft und Gase. Nun kann es zwar sehr wohl sein, dass der leere Raum, Luft und Gase die gleiche allgemeine Beziehung zur magnetischen Kraft haben, aber es scheint mir doch die weitere Voraussetzung, dass sie sämmtlich absolut magnetisch seien und in der Mitte der Körperreihe stehen, anstatt anzunehmen, dass sie sich in einem Normal- oder Nullzustande befinden, gewagt zu sein. Ich neige daher einstweilen zu der früheren Ansicht, also zu der, dass die Diamagnetica eine specifische, von der gewöhnlichen magnetischen antithetisch verschiedene Wirkung haben und so eine neue, uns bisher unbekannte Eigenschaft aufweisen.

2441. Die Grösse dieser Kraft in diamagnetischen Substanzen scheint sehr klein zu sein, wenn man sie nach ihrer dynamischen Wirkung beurtheilt, aber die Bewegung, welche diese Kraft erzeugen kann, ist vielleicht nicht das treffendste Maass derselben, und es ist wahrscheinlich, dass wir, wenn wir erst eine tiefere Kenntniss ihrer Natur erlangen werden, auch andere Wirkungen derselben, andere Prüfmittel und Messungen kennen lernen werden, als es die so unvollkommenen sind, die in dieser Abhandlung angeführt wurden; ja am Ende werden sogar neue Erscheinungsreihen von ihrer Thätigkeit zeugen. Ist es doch sehr frappant, zu sehen, wie schwach die Wirkung einer Spirale für sich ist, und wie erstaunlich die Kraft ist, welche sie durch Combination mit einem Stück weichen Eisens äussert und empfängt. Und so dürfen wir auch hier eine analoge Entfaltung dieses Kraftelements erwarten, so neu diese Kraft uns auch jetzt noch ist. Da sie Naturkörpern eigen ist, so kann man niemals annehmen, dass sie überflüssig

oder unzulänglich oder unnöthig sei. Ohne Zweifel hat sie ihren bestimmten Zweck, der zur gesammten Erdkugel in Beziehung steht, und eben wegen dieser Beziehung zur gesammten Erde ist ihre Stärke in den materiellen Theilen, die wir handhaben und dem Versuch unterwerfen, nothwendig (so zu sagen) so klein. Aber so klein sie ist, wie gewaltig viel grösser ist diese Kraft, selbst in ihren dynamischen Wirkungen, als beispielsweise die mächtige Gravitationskraft, welche das Universum zusammenhält, wenn sie sich in Massen von derselben Grösse äusserte!

2442. In der vollen Ueberzeugung, dass der Nutzen dieser Kraft in der Natur sich künftig offenbaren und wie alle anderen Wirkungen der Naturkräfte sich nicht nur als wichtig, sondern auch wesentlich erweisen wird, will ich mir einige flüchtige Bemerkungen erlauben.

2443. Die Materie kann von den magnetischen Kräften nicht afficirt werden, ohne selbst in der Erscheinung thätig zu sein und ihrerseits eine gewisse Wirkung auf die magnetische Kraft auszuüben. Man braucht nur zu sehen, um sich zu überzeugen, dass, wenn ein Magnet auf ein Stück weiches Eisen wirkt, das Eisen selbst vermöge des Zustandes, welchen seine Theilchen annehmen, die Kraft zu entfernten Punkten fortführt, ihr in der augenfälligsten Weise Richtung giebt und sie concentrirt. So mag auch hier der Zustand, in welchen die Theilchen der dazwischen liegenden Diamagnetica gerathen, gerade die Bedingung für die Fortführung und Ursache der Uebertragung der Kraft durch sie hin sein. In früheren Arbeiten (1161 etc.)[1]) habe ich eine auf die Wirkung aneinanderstossender Theilchen beruhende Theorie der elektrischen Induction aufgestellt, welche mich jetzt noch mehr befriedigt als damals. Ich wagte damals die Vermuthung, dass wahrscheinlich die Seitenwirkung elektrischer Ströme, welche der elektrodynamischen oder *magnetischen* Wirkung äquivalent ist, auch in ähnlicher Weise fortgeführt werde (1663, 1710, 1729, 1735). Damals vermochte ich keinen besonderen Zustand der dazwischenliegenden oder diamagnetischen Materie aufzufinden, aber nun, da wir im Stande sind eine solche Wirkung zu erkennen, die in Körpern von so *ungleicher* Beschaffenheit selbst ihrer Natur nach sich so *gleich* bleibt und hiermit der magnetischen Kraft in der Art, wie diese die Körper durchdringt, so gleicht, auch so allgegenwärtig ist wie diese; nun, da gezeigt worden, dass die Diamagnetica keine indifferenten Körper sind, fühle ich mich desto ermuthigter, diese Vermuthung zu wiederholen, und ich frage, ob es nicht die Wirkung der aneinanderstossenden oder einander zunächst liegenden Theilchen sein könne, wodurch die Magnetkraft fortgeführt wird, und ob nicht der eigenthümliche Zustand, welchen die Diamagnetica unter Einfluss der Magnetkraft erlangen, eben das sei, wodurch diese Fortpflanzung der Kraft bewirkt wird.

2444. Von unserer Ansicht über die festen und flüssigen Substanzen,

---

[1]) Philosophical Transactions, 1838, Part I.

ob wir nun dieselben in zwei Reihen ordnen oder sie uns als eine einzige grosse magnetische Klasse denken (2424, 2437), wird die Frage, soviel ich sehen kann, nicht berührt. Sie unterliegen alle dem Einfluss der sie durchsetzenden magnetischen Kraftlinien, und der wirkliche Unterschied zwischen den Eigenschaften irgend zweier an verschiedenen Orten in der Reihe (2424) stehenden Substanzen wird derselbe sein; denn es ist die Differentialbeziehung zwischen beiden, was ihre gegenseitige Wirkung bedingt.

2445. Nur die Gruppe, zu welcher Luft, Gase, Dämpfe und auch das Vacuum gehören, bietet Schwierigkeiten dar; allein hier ist eine so wunderbare Aenderung in der physikalischen Constitution der Körper eingetreten, es bleiben ihnen in gewisser Beziehung so mächtige Kräfte erhalten, während andere ihnen völlig zu entschwinden scheinen, dass wir eigentlich erwarten dürfen, dass sie in Bezug auf eine so universelle Kraft, wie es der Magnetismus ist, einen eigenthümlichen Zustand annehmen. Die elektrische Induction wird bei ihrer Wirkung in die Ferne durch starre und flüssige Körper nicht wenig geändert, aber ihre Aeusserung in Luft und Gasen, wo sie sich meistens deutlich zeigt, ist überall von gleichem Betrage (1292), der auch bei allen Dichtigkeitsänderungen der Luft ungeändert bleibt (1284)*). Nun kann die magnetische Wirkung als eine blosse Function der elektrischen Kraft angesehen werden, und es würde mich nicht überraschen, wenn sie der letzteren in dieser besonderen Beziehung zu Luft, Gasen u. s. w. entspräche.

2446. In Bezug auf die Art, wie es möglich ist, dass die elektrische Kraft, die statische wie die dynamische, von einem Theilchen zu einem anderen in die Ferne oder durch ein Vacuum hindurch übertragen werde, habe ich dem früher Gesagten nichts hinzuzufügen (1614 etc.). Die Annahme einer solchen Möglichkeit kann denen, welche sich gewöhnt haben, die Strahlung und Leitung der Wärme als einen principiell gleichen Vorgang aufzufassen, keinerlei Bedenken erregen.

2447. Betrachten wir den magnetischen Zustand der Erde in ihrer Gesammtheit, ohne Rücksicht auf ihre mögliche Beziehung zur Sonne, erwägen wir, wie ungeheuer die Masse der diamagnetischen Substanzen ist, welche die Erdrinde bilden, und bedenken ferner, dass die Linien der allgegenwärtigen magnetischen Kraft von einer gewissen Intensität diese Substanzen durchsetzen und beständig in dem Zustande von Spannung und demnach von Wirksamkeit erhalten, den es mir, wie ich hoffe, darzulegen geglückt ist, so können wir nicht zweifeln, dass dadurch für das System und für uns, seine Bewohner, irgend ein grosser nützlicher Zweck erreicht wird, den zu ergründen uns nun zur Freude gereichen wird.

2448. Von den Substanzen, aus denen sich die Erdrinde zusammen-

---

*) Nach den Untersuchungen von Boltzmann soll die Dielektricitätsconstante der Gase mit der Dichtigkeit derselben kleine Aenderungen erleiden. D. Ü.

setzt, gehört bei weitem der grösste Theil zu der diamagnetischen Klasse, und wiewohl eisenhaltige und andere magnetische Substanzen eine stärkere Wirkung und daher auch augenfälligere Erscheinungen zeigen, so wäre es doch übereilt, anzunehmen, dass sie die Wirkung der ersteren gänzlich überwältigen. Der Ocean, die Seen und Flüsse, sowie die Atmosphäre werden ihre Wirkung, fast unbeeinflusst von irgend welchen in ihnen enthaltenen magnetischen Substanzen, ausüben, und der diamagnetische Einfluss der Felsen und Berge ist am Ende grösser als man vermuthet. Ich habe erwähnt, dass ich durch passende Combination eines Eisensalzes mit Wasser eine in Luft inactive Substanz erhalten habe (2422), das heisst, durch geeignete Combination der Kräfte zweier den beiden Klassen angehöriger Körper, des Wassers und eines Eisensalzes, wurde die magnetische Kraft des letzteren durch die diamagnetische Kraft des ersteren gänzlich aufgewogen, und die Mischung wurde weder angezogen noch abgestossen. Um diesen Erfolg zu erzielen, muss man mehr als 48,6 Gran krystallisirtes Eisenvitriol zu 10 Cubikzoll Wasser setzen (denn dieses Verhältniss selbst giebt noch eine Lösung, die sich äquatorial stellt), eine so bedeutende Menge, dass ich sehr erstaunt war zu sehen, dass die Kraft des Wassers dieselbe überwältigt. Es ist daher durchaus nicht unwahrscheinlich, dass viele der Massen, aus denen die Erdrinde besteht, einen Ueberschuss von diamagnetischer Kraft besitzen und demgemäss wirken.

2449. Obgleich die allgemeine Vertheilung der magnetischen Curven, welche unsere Erdkugel durchdringen und umgeben, der eines sehr kurzen Magnets ähnlich ist, und die Kraftlinien somit im Allgemeinen sehr rasch divergiren, so macht doch die Grösse des Systems es uns unmöglich, eine Abnahme der Kraft innerhalb kleiner Grenzen zu beobachten, und daher würden wir uns wahrscheinlich vergebens bemühen, das Bestreben der Materie, von Punkten stärkerer zu Punkten schwächerer Wirkung überzugehen, auf der Erdoberfläche sichtbar zu machen. Rein theoretisch betrachtet, müsste jedoch, wie ich auf den ersten Blick glaube, ein Pfund Wismuth oder Wasser, das am Aequator gewogen wäre, wo die Inclination der Magnetnadel Null ist, in Breiten, wo die Inclination beträchtlich ist, ein geringeres Gewicht haben, während ein Pfund Eisen, Nickel oder Cobalt unter demselben Wechsel der Bedingungen ein grösseres Gewicht haben müsste. Sollte dies wirklich der Fall sein, so müsste ein empfindlicher Wagebalken, an dessen Enden eine Eisen- und eine Wismuthkugel aufgehängt wären, an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche eine verschiedene Neigung haben, und es erscheint daher nicht ganz unmöglich, dass sich nach einem derartigen Princip ein Instrument zur Messung eines der Zustände der erdmagnetischen Kraft würde construiren lassen.

2450. Verfolgt man in Gedanken die Wirkung des ganzen Systems von Curven auf sehr grosse Massen in Scheiben- oder Ringform, so ergiebt sich aus der Analogie mit dem magnetischen Felde, dass sie sich äquatorial

stellen würden. Wäre Saturn ein Magnet, wie es die Erde ist, und bestände sein Ring aus diamagnetischen Substanzen, so würden die magnetischen Kräfte ihm die Lage zu geben suchen, welche er wirklich hat.

2451. Es ist ein gar sonderbarer Anblick, ein Stück Holz oder Rindfleisch, oder einen Apfel, oder eine Flasche mit Wasser von einem Magnet abgestossen werden, oder ein zwischen den Polen aufgehängtes Baumblatt eine äquatoriale Lage einnehmen zu sehen. Ob in der Natur unter den Myriaden von Gestalten, welche an allen Punkten der Erdoberfläche von Luft umgeben und der Wirkung der magnetischen Kraftlinien ausgesetzt sind, ähnliche Vorgänge stattfinden, ist eine Frage, die nur durch künftige Beobachtungen beantwortet werden kann.

2452. Von dem Innern der Erde wissen wir nichts, aber wir haben viele Gründe zu der Annahme, dass daselbst eine hohe Temperatur herrscht. Auf Grund dieser Annahme habe ich neuerdings bemerkt, dass in einer gewissen Entfernung unter der Oberfläche die magnetischen Substanzen ihres Vermögens, Magnetismus zu behalten oder durch Induction von Strömen in der Erdrinde oder sonstwie magnetisirt zu werden, beraubt sein müssen.[1]) Dies ist offenbar ein Irrthum; dass das Eisen u. s. w. von selbst keinen magnetischen Zustand behalten kann, ist wahrscheinlich richtig, aber ich habe nunmehr gezeigt, dass die magnetischen Metalle und ihre Verbindungen bei jeder Temperatur das Vermögen, bis zu einem gewissen Grade durch Induction magnetisirt zu werden, behalten (2344 etc.). Die im Innern der Erde liegenden magnetischen Massen bilden also zwar wahrscheinlich nicht an sich einen centralen Magnet, aber sie befinden sich doch gerade in der Lage, um wie ein sehr schwacher, von Strömen oder anderen inducirenden Kräften umgebener Eisenkern zu wirken, und sehr wahrscheinlich spielen sie in dieser Beziehung eine wichtige Rolle. Welche Wirkung der diamagnetische Theil von solchen inducirenden Kräften erfahren mag, können wir noch nicht sagen, aber so weit meine Beobachtungen reichen, wird die Kraft solcher Körper durch Wärme nicht geschwächt (2397).

2453. Wenn die Sonne irgend etwas mit dem Magnetismus der Erde zu schaffen hat, so ist wahrscheinlich diese ihre Wirkung dem Lichte zuzuschreiben, das wir von ihr empfangen. Diese Vermuthung lässt die Rolle der die Erdkugel umgebenden Atmosphäre schlagend hervortreten, indem dieselbe eine durchsichtige diamagnetische Hülle bildet, die also für die Sonnenstrahlen durchgängig ist und sich gleichzeitig mit grosser Geschwindigkeit quer zu ihnen bewegt. Diese Bedingungen lassen hierbei die Erregung von Magnetismus als möglich erscheinen. Allein ich werde besser thun, mich der Aeusserung solcher vagen Gedanken (obschon sie sich mir aufdrängen) zu enthalten und sie zunächst einer strengen experimentellen

---

[1]) Philosophical Magazine, 1845, vol. XXVII, p. 3 [Siehe weiter unten].

Untersuchung zu unterwerfen, um sie alsdann, wenn sie sich dessen werth zeigen, der Royal Society vorzulegen.

Royal Institution,
22. Dec. 1845.

2. Februar 1846. — Ich füge diesen Untersuchungen folgende Notizen und Nachweisungen bei:

Brugmans beobachtete zuerst, im Jahre 1778, die Abstossung des Wismuths durch einen Magnet. Antonii Brugmans *Magnetismus seu de affinitatibus magneticis observationes magenticae.* Lugd. Batav. 1778, § 41.

Le Baillif *über die Abstossung eines Magnets durch Wismuth und Antimon,* Bulletin Universel, 1827, vol. VII, p. 371; vol. VIII, pp. 87, 91, 94.

Saigey *über den Magnetismus gewisser natürlicher Verbindungen des Eisens und über die gegenseitige Abstossung der Körper im Allgemeinen.* Ibid. 1828, vol. IX, pp. 89, 167, 239.

Seebeck *über die magnetische Polarität verschiedener Metalle, Legirungen und Oxyde.* Ibid. 1828, vol. IX, p. 175.

ZWEIUNDZWANZIGSTE REIHE.[1])

§ 28. Ueber die Krystallpolarität des Wismuths (und anderer Körper) und über ihre Beziehung zur magnetischen Kraftform. I. Krystallpolarität des Wismuths. II. Krystallpolarität des Antimons. III. Krystallpolarität des Arsens.

Eingegangen am 4. October, — Gelesen am 7. December 1848.

2454. Zu wiederholten Malen haben mich viele Resultate, die ich erhielt, als ich Wismuth der Wirkung des Magnets unterwarf, in Verlegenheit gesetzt, so dass ich mich entweder mit einer unvollkommenen Erklärung derselben begnügt oder sie für eine spätere Untersuchung zurückgestellt habe. Diese Untersuchung habe ich nun unternommen, und sie hat mich zu folgenden Entdeckungen geführt, die ich nicht besser einleiten kann, als durch eine kurze Beschreibung der Anomalien, welche mir aufstiessen, und die man nach Belieben wiedererhalten kann.

2455. Schmilzt man wohlgereinigtes Wismuth mittelst einer Spirituslampe in einer Kugel, zu welcher der mittlere Theil einer engen offenen Glasröhre ausgeblasen ist, so ist es leicht, das geschmolzene Metall, indem man es in den röhrenförmigen Theil treten lässt, in Form langer Cylinder zu erhalten, die ganz blank sind, im Bruche krystallinisch erscheinen und gewöhnlich Spaltungsebenen in der Querrichtung geben. Der Durchmesser meiner Präparate beträgt 0,05 bis 0,1 Zoll, und wenn das Glas dünn ist, breche ich es zugleich mit dem Wismuth durch und bewahre die kleinen Cylinder in ihrer Glashülle auf.

2456. Als ich nun einige dieser Cylinder auf's Gerathewohl zwischen den Polen des Elektromagnets (2247) horizontal aufhängte, zeigten sich folgende Erscheinungen. Der erste stellte sich axial, der zweite äquatorial, der dritte in einer Lage äquatorial, und schief, wenn er um 50^0 bis 60^0 um seine Axe gedreht wurde, der vierte unter denselben Umständen äquatorial und axial; vertical aufgehängt, stellten sich alle gut ein unter Vollführung von Schwingungen um eine feste Endlage, welche zu der Ge-

---

[1]) Philosophical Transactions, 1849, p. 1. Baker-Vorlesung.

stalt der Cylinder keine Beziehung zu haben schien. In allen diesen Fällen war das Wismuth stark diamagnetisch (2295 etc.), wurde von einem einzelnen Magnetpole abgestossen oder wich zwischen zwei Polen nach beiden Seiten von der axialen Linie aus. Auf ein ähnliches, feinkörniges oder granulirtes Stück Wismuth war die Wirkung unter gleichen Umständen und zur selben Zeit eine vollkommnen regelmässige, es nahm, wie es eben ein einfacher diamagnetischer Körper thun muss, die äquatoriale Lage ein (2253). Die Ursache dieser Abweichungen fand ich schliesslich in der regelmässigen krystallinischen Beschaffenheit der Metallcylinder.

I. Krystallpolarität des Wismuths.

2457. Ich liess etwas Wismuth in gewöhnlicher Weise krystallisiren, indem ich es in einem reinen eisernen Löffel schmolz, zum Theil erstarren liess und das flüssige Innere ausgoss. So erhaltene Stücke wurden durch kupferne Hämmer und Werkzeuge zerschlagen und diejenigen Krystallgruppen ausgeschieden, die eine symmetrische Anordnung hatten, und von denen es daher wahrscheinlich war, dass sie in einer und derselben Richtung wirken würden. Die mit dem Eisenlöffel in Berührung gewesenen Stücke wurden durch Abreiben mit Sandstein und Sandpapier gereinigt. So liessen sich leicht Stücke im Gewichte von 18 bis 100 Gran erhalten.

2458. Der zuerst angewandte Elektromagnet war der früher beschriebene (2247) mit veränderlichen Endstücken, die konische, runde oder flache Pole darboten. Um die Aufhängung des Wismuths leicht und gegen magnetische Einflüsse gesichert zu bewerkstelligen, wurde gewöhnlich folgende Anordnung getroffen. Ein 12 bis 24 Zoll langer einfacher Coconfaden hing oben an einem passenden Gestell und war unten an dem Ende eines dünnen, geraden, wohlgereinigten, etwa 2 Zoll langen Kupferdrahtstücks befestigt; das untere Ende dieses Drahtes war zu einem Knöpfchen zusammengedreht und mit einem Kügelchen Kitt versehen, der durch Zusammenschmelzen von einem Theil reinen weissen Wachses und dem vierten Theil seines Gewichts Canadabalsam gewonnen war. Der Kitt war weich genug, um durch Druck an jeder trockenen Substanz zu kleben, und hart genug, um Gewichtsmengen von 300 Gran und darüber zu tragen. Diese Aufhängungsvorrichtung wurde zunächst für sich der Wirkung des Magnets ausgesetzt, um sicher zu sein, dass sie selbst kein Bestreben habe, sich einzustellen, oder sonst eine Einwirkung erleide; denn ohne diese Vorsichtsmassregel würden die Versuchsergebnisse keinen Anspruch auf Zuverlässigkeit haben.

2459. Ein Stück ausgelesenen Wismuths (2457) von 25 Gran Gewicht bewegte sich, zwischen den Polen des Magnets aufgehängt, mit grosser Freiheit. Die dasselbe zusammensetzenden Würfel schlossen sich wie gewöhnlich in der zwei gegenüberliegende Ecken verbindenden Linie an ein-

ander, und diese Linie fiel in die grösste Längsausdehnung des Stückes. Sobald die Magnetkraft auftrat, begann das Wismuth starke Schwingungen um eine gegebene Linie auszuführen, in welcher es schliesslich zur Ruhe kam; aus dieser Lage herausgebracht, kehrte es, frei gelassen, wieder in dieselbe zurück und stellte sich mit beträchtlicher Kraft seiner grössten Länge nach *axial*.

2460. Nun wurde ein anderes Stück von flacherer Gestalt ausgewählt und dem Einfluss des Magnetismus ausgesetzt; es stellte sich mit derselben Kraft und Leichtigkeit seiner grössten Länge nach äquatorial, doch lag die Linie, in welcher die Würfel sich diametral aneinanderreihten, wie vorher, in *axialer* Richtung. Andere Stücke von verschiedener Gestalt oder durch Abreiben auf Stein in verschiedene Gestalt gebracht, stellten sich alle gut ein und nahmen schliesslich eine Lage ein, welche keine Beziehung zur Gestalt hatte, aber offenbar von der krystallinischen Beschaffenheit der Substanz abhing.

2461. In allen diesen Fällen war das Wismuth diamagnetisch und wurde von jedem der beiden Magnetpole kräftig abgestossen oder aus der axialen Linie herausgetrieben. Die Wirkung dauerte nur so lange als die Magnetkraft vorhanden war. Es stellte sich ganz regelmässig in einer bestimmten Lage ein und kehrte, von derselben abgelenkt, immer wieder dahin zurück, so lange die Ablenkung nicht 90^0 überstieg, in welchem Falle das Stück sich weiter drehte und eine neue, der früheren diametral entgegengesetzte Lage einnahm, in welcher es mit gleicher Kraft und in gleicher Weise verharrte. Diese Erscheinung gilt ganz allgemein für alle Resultate, über die ich zu reden habe, und ich will sie daher mit den Worten, diametral, diametrale Einstellung oder Lage bezeichnen.

2462. Diese Erscheinung zeigt sich auch bei einem einzelnen Magnetpole, und es ist dann überraschend zu sehen, wie ein längliches Stück einer so diamagnetischen Substanz wie Wismuth abgestossen wird und sich doch zugleich kräftig in die axiale Lage dreht, das Ende dem Pole zukehrt, wie es eine magnetische Substanz thun würde.

2463. Die Wirkung auf Wismuth bleibt sich gleich, die Magnetpole (2458) mögen spitz, rund oder flach sein; dennoch hat die Gestalt der Pole einen erheblichen Einfluss untergeordneter Art, und gewisse Gestalten eignen sich besser zu diesen Untersuchungen als andere. Von spitzen Polen aus divergiren die magnetischen Kraftlinien (2149) rasch, und die Intensität der Kraft nimmt nach der Mitte des Abstandes von jedem Pole ab. Bei flachen Polen sind die Kraftlinien zwar gekrümmt und ihre Intensität ist an und nach den Rändern der Flächen hin verschieden, aber es giebt doch in der Mitte des magnetischen Feldes einen Raum, wo sie als den Magnetaxen parallel und als überall von gleicher Stärke angesehen werden können. Wenn die flachen Flächen der Pole quadratisch oder kreisförmig sind und ihr Abstand von einander ein Drittel ihres Durchmessers beträgt, so hat

dieser Raum von gleichförmiger Kraft eine beträchtliche Ausdehnung. Bei meinem Versuche ist der centrale oder axiale Theil des magnetischen Feldes merklich schwächer als die ihn umgebenden Stellen, allein jede Polfläche hat in der Mitte ein kleines Schraubenloch, worin anders gestaltete Endstücke eingesetzt werden können.

2464. Nun ist das Gesetz, nach welchem beim Wismuth, als einem *diamagnetischen* Körper, die Wirkung erfolgt, dies, dass dasselbe von Orten stärkerer zu Orten schwächerer magnetischer Kraft zu gehen strebt (2267, 2418), allein als ein *magnekrystallischer* Körper ist er keiner Wirkung dieser Art unterworfen und wird von Linien gleicher Kraft ebenso stark beeinflusst wie von irgend welchen anderen. So scheint ein Stück amorphes Wismuth in einem gleichförmigen magnetischen Felde seine diamagnetische Kraft völlig verloren zu haben und keine andere Bewegung als die von der Torsion des Aufhängungsfadens oder von Luftströmungen herrührende anzunehmen, wogegen ein regelmässig krystallisirtes Stück Wismuth unter denselben Umständen vermöge seiner magnekrystallischen Beschaffenheit sehr stark beeinflusst wird.

2465. Hieraus erkennt man den grossen Werth eines magnetischen Feldes von gleichförmiger Kraft. Wenn nun bei der Untersuchung von Körpern mit nur schwacher Krystallkraft ein vollkommen gleichförmiges Feld gebraucht werden sollte, so liesse es sich leicht dadurch herstellen, dass man die Polfläche etwas convex machte und die Kanten mehr oder weniger abrundete. Die erforderliche Gestalt würde sich durch Rechnung finden lassen, oder in Praxis vielleicht noch besser durch Anwendung eines kleinen Probecylinders von körnigem oder amorphem Wismuth oder von Phosphor.

2466. Hierzu mag noch bemerkt werden, dass kleine Krystalle oder Krystallmassen und solche, die sich im Allgemeinen der Würfel- oder Kugelgestalt nähern, besser sind als grosse oder längliche Stücke, insofern als solche Stücke, wenn Unregelmässigkeiten in der Stärke des magnetischen Feldes vorkommen, hierdurch wahrscheinlich weniger beeinflusst werden.

2467. In einem gleichförmigen magnetischen Felde erleidet der Wismuthkrystall die gleiche Einwirkung, ob er sich in der Mitte des Feldes oder ganz in der Nähe eines der Magnetpole befindet, d. h. die Anzahl der Schwingungen scheint in gleicher Zeit gleich zu sein. Indess darf dieses Messungsmittel nur mit grosser Vorsicht angewandt werden, weil es in äquatorialer Richtung zwei Lagen labilen Gleichgewichts giebt, und die Schwingungen in grossen Bogen viel langsamer erfolgen als die in kleinen, und es ist in verschiedenen Fällen schwierig, die Amplituden gleich zu halten.

2468. Ob das Wismuth sich in einem starken oder schwachen magnetischen Felde befindet, ob die Magnetpole dicht neben ihm liegen, oder fünf, sechs Zoll, ja einen Fuss weit auseinander gerückt sind, ob das Wismuth sich in oder über oder unter der Linie des Kraftmaximums befindet, ob der elektrische Strom und demnach die Magnetkraft stark oder schwach

ist, stets wird das Wismuth, wenn es überhaupt afficirt wird, in derselben Weise afficirt.

2469. Die Resultate sind allesammt sehr verschieden von denen der diamagnetischen Wirkung (2418). Sie sind gleichfalls verschieden von denen, welche Plücker entdeckt und in seinen schönen Untersuchungen über die Beziehung der optischen Axe zur magnetischen Wirkung beschrieben hat; denn dort ist die Kraft äquatorial, während sie hier axial ist. So scheinen sie uns eine neue Kraft oder eine neue Kraftform in den Molecülen der Materie aufzuweisen, die ich der Bequemlichkeit halber durch ein neues Wort, durch *Magnekrystallkraft* bezeichnen will.

2470. Die Richtung dieser Kraft ist in Bezug auf das magnetische Feld *axial* und *nicht äquatorial*, wofür sich mehrere Beweise anführen lassen. Als z. B. ein regelmässig krystallirtes Stück Wismuth, das, im magnetischen Felde aufgehängt, sich einstellte, in dieser Lage gehalten wurde, während der Aufhängungspunkt um 90^0 in der Aequatorialebene verschoben wurde (2252), so dass, wenn man es wieder frei schweben liess, die durch den Krystall gehende Linie, welche früher horizontal in der Aequatorialebene war, nun vertical war, so stellte sich derselbe wiederum ein, und zwar im Allgemeinen mit stärkerer Kraft als zuvor. Die durch den Krystall gehende, mit der magnetischen Axe zusammenfallende Linie kann man nun als eine Kraftlinie ansehen, und wie oft man auch die Vierteldrehung in der Aequatorialebene wiederholt, der Krystall stellt sich stets mit der angenommenen Kraftlinie und der Maximalstärke der Kraft in Richtung der magnetischen Axe ein. Verschiebt man nun aber den Aufhängungspunkt um 90^0 in der Ebene der Axe, d. h. nach dem Ende der angenommenen Kraftlinie hin, so dass diese Linie, wenn man den Krystall wieder frei schweben lässt, vertical ist, so ist die eigenthümliche Erscheinung, welche der Krystall zeigt, ein *Minimum*, er scheint seines Richtungsvermögens gänzlich oder nahezu beraubt und äussert in Beziehung zum Magnet nur die gewöhnliche diamagnetische Kraft (2418).

2471. Wenn nun die Kraft äquatorial und polar gewesen wäre, so würde sie das Maximum ihrer Wirkung nicht bei einer Verschiebung des Aufhängungspunktes um 90^0 in der Aequatorialebene, sondern bei der gleichen Verschiebung in der Axialebene hervorgebracht haben, und eine weitere gleiche Verschiebung in der Axialebene würde die Maximalkraft nicht gestört haben, wogegen eine einzige Verschiebung um 90^0 in der Aequatorialebene die Kraftlinie in die Verticale gebracht und (wie bei Plücker's Versuch mit dem Kalkspath) die Erscheinung auf ein Minimum oder auf Null reducirt haben würde.

2472. Die Richtkraft sowie die Einstellung des Krystalls fällt also in die *axiale* Richtung. Diese Kraft hat ohne Zweifel ihren Sitz in den Theilchen des Krystalls. Sie ist solcher Art, dass der Krystall mit gleicher Leichtigkeit und Beständigkeit zwei diametrale Lagen einnehmen kann, und

dass es zwischen diesen zwei äquatoriale Gleichgewichtslagen giebt, die freilich labiler Natur sind. Ein Ende der Masse oder ihrer Molecüle verhält sich bei diesen Erscheinungen sowohl als auch bei den gewöhnlichen Krystallisationsvorgängen in jeder Hinsicht wie das andere, und daher dürften in vielen Fällen die Worte *axial* und *Axialität* bezeichnender sein als die Ausdrücke *polar* und *Polarität.* Meinen eigenen Vorstellungen haben sich die ersteren Bezeichnungen ihrem Sinne nach nützlicher gezeigt.

2473. Bei Versetzung des *Metalles* in andere, also gezwungene Lagen bringt der Magnetismus, wie stark er auch sein oder wie lange er auch wirken mag, keine Aenderung in der Stärke oder Richtung des Zustandes oder der Kraft des Wismuths hervor.

2474. Es ist nicht leicht, die Lage dieser Kraft in Bezug auf den Krystall anzugeben, wiewohl es sehr leicht ist, sie experimentell festzustellen. Die Gestalt der Wismuthkrystalle soll die eines Würfels und die seiner primitiven Bestandtheile ein regelmässiges Octaëder sein. Mir scheinen die Krystalle nicht Würfel zu sein, sondern Rhomboëder oder rhombische Prismen, die sich der Würfelform sehr nähern. Meine Messungen waren sehr unvollkommen und meine Krystalle nicht regelmässig, aber im Mittel mehrerer Beobachtungen ergab sich die Neigung der Flächen zu einander zu $91^0{,}5$ und $88^0{,}5$ und die der Kanten einer Fläche zu $87^0{,}5$ und $92^0{,}5$. Welches auch die wahre Gestalt sein mag, so lehrt doch der Augenschein, dass die Aggregatkraft das Bestreben hat, Krystalle von mehr oder weniger rhomboëdrischer Gestalt mit rhombischen Flächen zu bilden, und dass diese Krystalle im Allgemeinen in Richtung ihres grössten Diameters zu symmetrischen Gruppen verwachsen. Die Linie der *Magnekrystallkraft* fällt nun fast immer mit dieser Richtung, wo sie erkennbar ist, zusammen.

2475. Durch *Spaltung* der Wismuthkrystalle werden die Ecken abgestumpft, so dass es vier Richtungen giebt, die ein Octaëder constituiren. Diese Spaltungen lassen sich jedoch (nach meiner Erfahrung) nicht leicht bewerkstelligen, auch sind die Spaltungsflächen nicht gleich blank und vollkommen. Zwei und noch häufiger eine dieser Flächen ist vollkommener als die anderen und diese, die vollkommenste Fläche, wird an der schärfsten Ecke erzeugt (2474) und ist im Allgemeinen leicht zu erkennen. Wird ein Wismuthkrystall, der viele Spaltungsflächen darbietet, im magnetischen Felde aufgehängt, so wendet sich eine dieser Flächen gegen den einen, und ihre correspondirende Fläche, wenn eine solche vorhanden ist, gegen den anderen Magnetpol, so dass die Linie der Magnekrystallkraft senkrecht ist zu dieser Fläche. Diese Fläche ist diejenige, von der ich bereits gesagt habe, dass sie im Allgemeinen die vollkommenste ist und die scharfe Ecke des Krystalls ersetzt.

2476. Aus der Wismuthmasse schnitt ich einen Krystall mittelst Kupferwerkzeuge heraus und rieb die Berührungsflächen mit Sandpapier ab, so dass ich ein würfelförmiges Stück erhielt, von dessen sechs Seiten vier

natürliche waren. Eine der Ecken, in der man die Linie der Magnekrystallkraft auslaufen oder deren Richtung vermuthen durfte, wurde fortgeschafft, so dass man eine kleine Spaltungsfläche erhielt, die, wie zu erwarten war, blank und vollkommen war. Wurde der Krystall mit dieser Fläche vertical im magnetischen Felde aufgehängt, so stellte er sich mit beträchtlicher Kraft augenblicklich so ein, dass die Fläche einem der Magnetpole zugekehrt war, und die Magnekrystallaxe nun horizontal liegend erschien und die grösste Wirksamkeit hatte. Brachte man diese axiale Linie in die Verticale, stand also die Fläche horizontal — um die richtige Lage zu erhalten, wurde alle Sorgfallt angewandt — so wurde der Krystall gar nicht gerichtet. Als nun der Würfel nach einander an allen Ecken und Flächen aufgehängt wurde, stellte er sich stets mit grösserer oder geringerer Kraft ein, aber immer so, dass eine auf die Spaltungsfläche senkrechte Linie (die also die Kraftlinie vorstellt) sich in derselben Verticalebene befand, in welche die magnetische Axe fiel. Wenn endlich die blanke Spaltungsfläche horizontal, also die Richtkraft vertical war, so konnte man durch eine geringe Neigung derselben in einer gegebenen Richtung bewirken, dass jeder beliebige Theil des Krystalls sich den Magnetpolen zukehrte.

2477. Dieselben Resultate erhielt man mit einer *Gruppe* von Krystallen, deren Scheitel aus einer einzigen kleinen Spaltungsfläche gebildet war.

2478. Zuweilen erhielt ich Krystallgruppen (2457), für welche es keine Lage zu geben schien, in der sie ihre Directionskraft völlig verloren, sondern sie schienen ein Minimum dieser Kraft zu behalten. Es ist jedoch sehr unwahrscheinlich, dass alle diese Gruppen eine vollkommen symmetrische Anordnung ihrer Theile besassen; ja es ist auffallender, dass ihr Verhalten ein so entschiedenes ist. Ueber die wesentliche und wirkliche Krystallstructur des Wismuths und vieler anderer Körper wird wahrscheinlich die magnetische Kraft einen wichtigeren Aufschluss geben, als es die Gestalt der Masse vermag.

2479. Ich habe bereits bemerkt, dass die *Magnekrystall*kraft sich nicht in Anziehung oder Abstossung äussert, oder wenigstens Annäherung oder Zurückweichen bewirkt, sondern bloss *Richtung* giebt. Das *Gesetz* ihrer Aeusserung scheint zu sein, dass *die Linie oder Axe der* **Magnekrystallkraft** (also die Resultante der Wirkung aller Theilchen) *sich zu der durch den Ort des Krystalls gehenden magnetischen Curve oder magnetischen Kraftlinie parallel oder tangential zu stellen sucht.*

2480. Ich zerbrach nun Wismuthmassen, die auf gewöhnliche Weise geschmolzen und erstarrt waren, wählte solche Stücke aus, welche am regelmässigsten krystallisirt erschienen, und unterwarf sie dem Versuch. Es war fast unmöglich, ein kleines Stück zu finden, das nicht dem Magnet gehorchte und sich mehr oder weniger leicht einstellte. Unter den dünnen Platten mit vollkommenen Spaltungsflächen fanden sich leicht Exemplare,

welche in jeder Hinsicht den Krystallen entsprachen, wogegen dickere Platten oder eckige Stücke oft verwickelte Erscheinungen zeigten, obschon ihre Gestalt anscheinend einfach und regelmässig war. Zuweilen zeigte es sich, dass die Spaltungsfläche, welche ich als senkrecht zu der Kraftlinie (2475) gehalten hatte, eine solche nicht war, aber wenn ich die Richtung der Magnekrystallkraft durch Beobachtung feststellte, fand ich immer oder erhielt durch Spaltung eine ihr entsprechende Fläche, welche das eben beschriebene Ansehen und Merkmal hatte (2475). Oft bewies der Augenschein bei Wismuthplatten von einem zwanzigstel bis einem zehntel Zoll Dicke, die von parallelen und ähnlichen Flächen begrenzt waren, wenn sie zerbrochen wurden, dass sie zusammengesetzt und unregelmässig waren.

2481. Wird eine wohl ausgelesene Wismuthplatte (die meinige war ungefähr 0,3 Zoll lang, ebenso breit und etwa 0,05 Zoll dick) am Rande im magnetischen Felde aufgehängt, so schwingt sie und stellt sich dann so ein, dass sie ihre Seiten den Magnetpolen zukehrt und diametral zur Ruhe kommt (2461). An welcher Stelle des Randes die Aufhängung erfolgt, ist gleichgiltig, die Resultate bleiben dieselben. Wird sie jedoch horizontal so aufgehängt, dass die Spaltungsebenen und die magnetische Axe der Bewegungsebene der Platte parallel sind, so ist sie ganz indifferent, denn in diesem Falle ist in jeder Lage, welche sie einnehmen kann, die Linie der Magnekrystallkraft rechtwinkelig zur magnetischen Kraftlinie.

2482. Wird aber der Platte nur eine ganz geringe Neigung zu dieser Lage ertheilt, so richtet sie sich, und zwar mit um so grösserer Kraft, je mehr die Ebenen sich der Verticalen nähern (2475), und die oben an einem Krystall beschriebene Erscheinung (2476) kann hier mit einem Bruchstück einer Masse erhalten werden, und es lässt sich bewirken, dass jeder Theil des Randes der Platte sich axial einstellt, indem man ihn über oder unter die Horizontalebene bringt.

2483. Wenn man eine Anzahl solcher krystallinischer Platten mit Hilfe des Magnets ausgewählt hat, so kann man sie alsdann durch etwas guten Kitt (2458) zu einer Masse vereinen, welche ein vollkommen regelmässiges magnekrystallisches Verhalten hat und in dieser Beziehung den früher besprochenen Krystallen (2459, 2468, 2476) gleicht. Auf diese Weise lässt sich auch die *diamagnetische* Wirkung des Wismuths neutralisiren; denn es ist leicht ein Prisma zusammenzusetzen, das eben so breit wie dick ist, und das mit seiner Längsseite vertical aufgehängt, sich gut einstellt, ohne durch die diamagnetische Wirkung gestört zu werden.

2484. Stellt man drei gleiche Platten rechtwinkelig zu einander, so hat man ein System, welches alle Fähigkeit, sich unter dem Einfluss des Magnets einzustellen, verloren hat, da die Kraft in jeder Richtung neutralisirt ist. Dies repräsentirt den Fall von fein krystallisirtem oder amorphem Wismuth. Dasselbe Resultat (von demselben Charakter) erhält man, wenn man eine ausgelesene gleichförmige Masse von Krystallen (2457) in einer

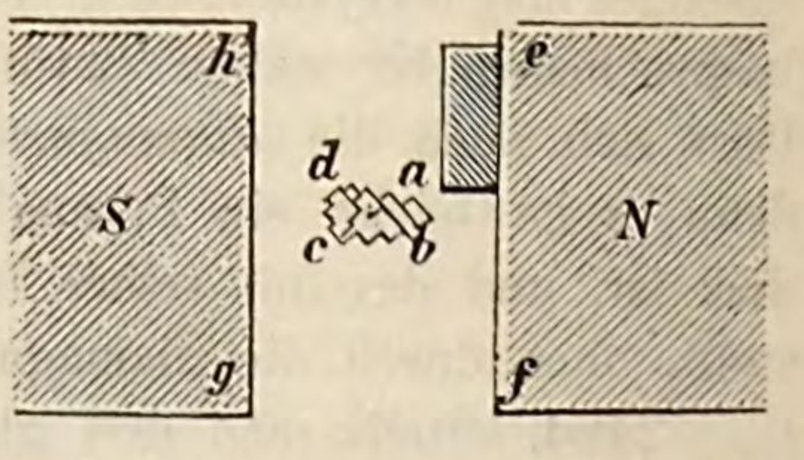
Glasröhre schmelzt und erstarren lässt; wenn nur die Krystallisation nicht erheblich und deutlich ist, was selten vorkommt, so ist das Stück scheinbar ohne Magnekrystallkraft. Ein gleiches Resultat erhält man auch, wenn man den Krystall zerbricht und die kleinen Bruchstücke oder das Pulver in einer Röhre der Wirkung des Magnets aussetzt.

2485. Diese Versuche mit Wismuth sind nicht schwer zu wiederholen, ja mit Ausnahme derer, welche ein plötzliches Entstehen und Verschwinden des Magnetismus verlangen, lassen sie sich mit einem gewöhnlichen Hufeisenmagnet anstellen. Ein derartiger Magnet, mit dem ich viel erreicht habe, besteht aus sieben an einander liegenden Stäben, die mit aufwärts gerichteten Polen in einer Büchse befestigt sind und zwei $1^1/_4$ Zoll von einander abstehende Magnetschenkel bilden, zwischen denen sich das magnetische Feld mit horizontalen Kraftlinien befindet. Die Magnetpole müssen mit Papier bedeckt sein, um das Haften von Eisentheilchen oder Rost zu verhüten. Der beste Ort für das Wismuthstück ist natürlich zwischen den Polen, jedoch nicht im Niveau mit ihren Scheiteln, sondern 0,4 bis 1,0 Zoll tiefer (2463), um die Wirkung flacher Pole zu erhalten. Ist es wünschenswerth, die magnetischen Kraftlinien zu verstärken, so lässt sich dies dadurch erreichen, dass man ein Stück Eisen zwischen die Magnetpole bringt und somit, indem man sie so gleichsam einander nähert, die Weite des magnetischen Feldes zwischen ihnen verkleinert.

2486. Der Anker des von mir benutzten Magnets trägt 30 Pfund; aber bei Anwendung kleiner Wismuthstücke habe ich die Wirkungen leicht mit Magneten erhalten, die selbst nicht mehr als 7 Unzen wogen und nur 22 Unzen zu tragen vermochten. Die Versuche liegen also in Jedermanns Bereich.

2487. Während der Wismuthkrystall sich im magnetischen Felde befindet, wird er bei Annäherung weichen Eisens oder eines Magnets sehr deutlich und sogar stark in folgender Weise afficirt. Es stelle Fig. 1 die Lage der beiden Haupt-Magnetpole und eines Stückes krystallisirten Wismuths dar, welches sich vermöge seiner magnekrystallischen Eigenschaft zwischen ihnen axial einstellt. Legt man nun ein Stück weiches Eisen an die Polfläche an, z. B. bei *e*, und dem Wismuth nahe wie *a*, so wird es letzteres so beeinflussen, dass es sich dem Eisen nähert. Legt man das Eisen ebenso bei *f*, *g* oder *h* an, so bewirkt es eine ähnliche Bewegung des Wismuths, und die mit *b*, *c* und *d* bezeichneten Theile nähern sich dem Eisen, scheinen also angezogen zu werden. Wenn das weiche Eisen nicht den Magnetpol berührt, sondern zwischen

Fig. 1.

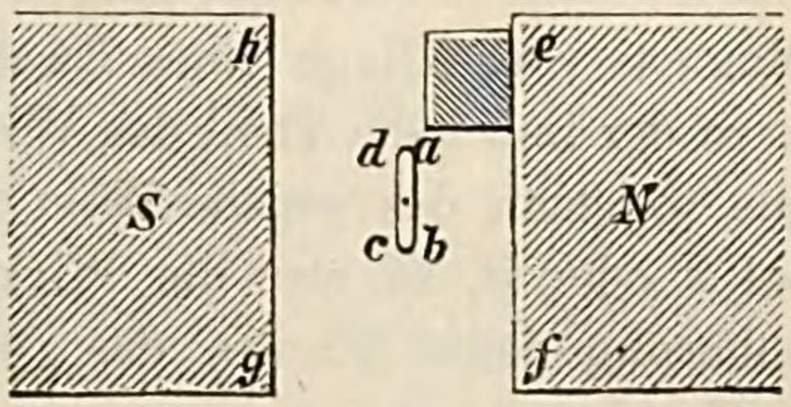


ihm und dem Wismuth gehalten wird, so dass im Grossen und Ganzen die Lage zu einander dieselbe bleibt, so treten dieselben Erscheinungen nur in schwächerem Grade auf.

2488. Wiewohl diese Bewegungen die Wirkung einer Anziehung anzuzeigen scheinen, so glaube ich doch nicht, dass sie von einer solchen Ursache herrühren, sondern einfach die Folge des oben (2479) aufgestellten Wirkungsgesetzes sind. Durch die Gegenwart des Eisens wird die frühere Gleichförmigkeit des magnetischen Feldes gestört. Von der Ecke *a* des Eisens in der in der Figur dargestellten Lage, oder von den entsprechenden Ecken in den anderen Lagen gehen (da die Gestalt des Poles sich nun mehr der eines Kegels oder einer Spitze nähert) magnetische Kraftlinien von grösserer Intensität als die übrigen aus, und daher dreht sich der Wismuthkrystall um die Aufhängungsaxe in die Lage, in welcher die Richtung der Magnekrystallkraft parallel oder tangential zu der durch seine Masse gehenden Resultirenden der magnetischen Kräfte ist.

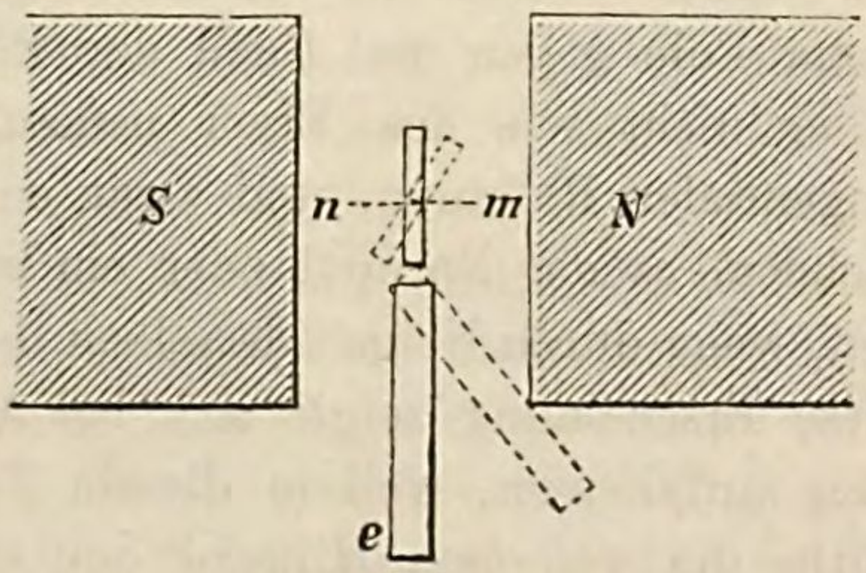
2489. Wenn man statt der Krystallgruppe eine krystallinische Wismuthplatte (2481) anwendet, so haben die Wirkungen unter ähnlichen Umständen das Ansehen einer *Abstossung*. Denn wenn Fig. 2 diesen Zustand der Dinge darstellt und das Stück Eisen an *e* angelegt wird, so weicht die Platte von demselben bei *a* zurück, oder bei den Punkten *b*, *c* und *d*, wenn es bei *f*, *g* oder *h* angelegt wird. Obwohl nun diese Erscheinungen wie Abstossung aussehen, so sind sie, meiner Meinung nach, doch nichts weiter als die Folgen des Bestrebens, welches das Wismuth gemäss dem oben ausgesprochenen Gesetze (2479) hat, die magnekrystallische Kraftlinie parallel oder tangential zu der durch das Wismuth gehenden Resultirenden der magnetischen Kraft zu stellen.

Fig. 2.



2490. Ein Stück Eisendraht von ungefähr $1^1/_2$ Zoll Länge und 0,1 bis 0,2 Zoll Dicke in der Aequatorialebene an den Rand der Platte (Fig. 3) gehalten, änderte die Lage derselben nicht; wenn aber das Ende *e* gegen einen der Pole geneigt war, so begann die Platte sich zu bewegen, und sie bewegte sich am meisten, wenn das Eisen den Pol wie in der Figur berührte. Wenn es dem Pole N nahe war oder ihn berührte, so hatte die krystallinische Wismuthplatte die in der Figur punktirt angegebene Neigung. Bei Berührung des Poles S war die Neigung die entgegengesetzte. Wurde das Ende *e* des Weicheisenstabes mit dem Pole N in Berührung und das andere Ende in

Fig. 3.



die Lage *m* gebracht, so erfuhr das Wismuth keine Einwirkung; wenn man aber dann diesen Hilfspol in dem einen oder anderen Sinne gegen den Rand der Platte hin bewegte, so drehte sich diese, sowie der Pol sich bewegte, und strebte dabei immer, ihre Seite diesem zugekehrt zu halten, offenbar vermöge des Bestrebens der Magnekrystallaxe, sich parallel zu der durch das Wismuth gehenden Resultirenden der magnetischen Kraft zu stellen. Dieselben Resultate erhielt man unter ähnlichen Umständen mit dem Krystall (2487), und entsprechende Resultate, wenn das Weicheisenstück zwischen der Backe S des Magnets und dem Wismuth angebracht war. Die gleichen Effecte erhielt man auch mit Platten von Arsen und Antimon.

2491. Entsprechende Wirkungen treten auf, wenn man statt des weichen Eisens einen Magnet benutzt; nur muss man bedenken, dass, wenn der Hauptmagnet sehr kräftig ist, er den Magnetismus des kleinen genäherten Magnets neutralisiren, ja selbst umkehren kann, und dies kann (was äussere Einflüsse betrifft) geschehen, während letzterer sich im magnetischen Felde befindet, selbst wenn er, aus demselben entfernt, ungeändert erscheint.

2492. Als beispielsweise die Wismuthplatte zwischen den Backen des Hufeisenmagnets (2485) aufgehängt, Fig. 2, und der Nordpol eines kleinen Magnets (der Klinge eines Taschenmessers) in *a* oder *b* angebracht war, so wich der ihm nahe Theil des Wismuths zurück, genau aus demselben Grunde, aus welchem das weiche Eisen dies bewirkt hatte. Befand sich der Hilfspol bei *c* oder *d*, so war die Wirkung schwächer und bestand in einer Annäherung jenes Theiles des Wismuths an den Pol. Da diese Lage des Hilfspoles in gewisse vom Südpol des Hufeisenmagnets ausgehende Kraftlinien endigt und sie neutralisirt, so ändert die durch das Wismuth gehende Resultirende der magnetischen Kraftlinien ihre Richtung, wird gegen ihren früheren Lauf geneigt, genau so wie es die Bewegung des Wismuths, vermöge seines Bestrebens, seine Kraftlinie jenen in ihrer neuen Lage parallel zu stellen, andeutet.

2493. Ein genäherter Südpol bewirkt Bewegungen in umgekehrter Richtung.

2494. Wenn der kleine Magnet in äquatorialer Lage (Fig. 3) mit einem Pole gegen den Rand der Platte gehalten wurde, so bewirkte er, da er nicht wie das Eisen neutral war, eine Bewegung der Platte in tangentialer Richtung, und zwar entweder nach rechts oder nach links, je nachdem es ein Nordpol oder ein Südpol war, ebenso wie es auch das Eisen that, wenn durch Neigen desselben das genäherte Ende ein Pol wurde (2490). Diese Erscheinung zeigte sich bei Anwendung des Wismuthkrystalls (2487) noch auffallender, weil in diesem Falle bei der Gestalt und Lage des Wismuths die von dem Hilfspol am stärksten afficirten magnetischen Curven mehr umschlossen wurden als bei Anwendung der Platte.

2495. Unzählige Abänderungen dieser Bewegungen, scheinbare An-

ziehungen oder Abstossungen oder Tangentialwirkungen lassen sich nach Belieben hervorbringen durch Anwendung von Krystallen, deren Magnekrystallaxe mit ihrer Längsrichtung, oder von Platten, bei denen sie mit der Dickenrichtung zusammenfällt, sowie durch Anwendung von permanenten oder temporären magnetischen Hilfspolen. Führt man den beweglichen Pol von dem neutralen Punkte *m* langsam um das Wismuth herum zu dem anderen neutralen Punkte *n*, Fig. 3, so erhält man einen Inbegriff der gesammten Erscheinungen, die sich alle auf das oben aufgestellte allgemeine Gesetz (2479) zurückführen lassen, dass die Magnekrystallaxe und die durch das Wismuth gehende Resultirende der magnetischen Kraft parallel zu werden streben.

2496. So kann ein kleiner Krystall oder eine Platte von Wismuth (oder Arsen (2532)) sehr brauchbar und werthvoll werden, um die Richtung der Kraftlinien in einem magnetischen Felde anzugeben; denn während er durch seine Lage den Lauf derselben anzeigt, stört er sie durch seine eigene Wirkung nicht merklich.

2497. Viele dieser Bewegungen sind denen, welche Plücker, Reich und Andere unter dem Einfluss von Eisen und Magneten am Wismuth, insofern nur seine einfache diamagnetische Eigenschaft in Betracht kommt, erhalten und beschrieben haben, ähnlich und verwandt. Sie und Andere halten diese Erscheinungen für einen Beweis, dass das Wismuth, wie ich selbst ursprünglich annahm (2429 etc.), als Diamagneticum einen magnetischen Zustand besitzt, der umgekehrt ist wie der des Eisens. Ich kenne nicht alle ihre Ergebnisse oder ihre Betrachtungen darüber (da sie in deutscher Sprache veröffentlicht sind), aber so viel sie mir bekannt sind und ich sie wiederholt habe, scheinen sie nur einfache Folgen des oben aufgestellten Gesetzes (2267, 2418) zu sein, dass nämlich diamagnetische Körper von Orten stärkerer zu Orten schwächerer magnetischer Kraft zu gehen streben. Für die umgekehrte Polarität des Wismuths liefern sie so wenig einen neuen oder sonst einen Beweis als die früher von mir angegebenen Fälle, die sich dem Gesetze unterordnen.

2498. In Anbetracht der Möglichkeit, dass eine dazwischenliegende oder umgebende Substanz in irgend einer Weise die magnekrystallische Wirkung des Wismuths und anderer Körper beeinflussen könnte, hielt ich die Magnetpole in einem gegebenen festen Abstande (ungefähr zwei Zoll) von einander, hängte in der Mitte des magnetischen Feldes einen Wismuthkrystall auf und beobachtete seine Schwingungen und seine Ruhelage. Dann schob ich, ohne sonst etwas zu ändern, Wismuthschirme, Blöcke von ungefähr zwei Quadratzoll Querschnitt und 0,75 Zoll Dicke, zwischen die Pole und den Krystall, jedoch ohne eine Aenderung in den Erscheinungen durch ihre Gegenwart wahrnehmen zu können.

2499. Wurde der Wismuthkrystall (2459) in Wasser zwischen den Polen des Hufeisenmagnets aufgehängt, so stellte es sich gemäss dem allgemeinen Gesetze (2479) ein; fünf Umgänge des Torsionszeigers am oberen Ende des seidenen Aufhängungsfadens waren erforderlich, um ihn aus dieser in die diametrale Lage zu bringen. So viel ich sehen kann, ist dies derselbe Betrag der Torsionskraft, welcher zu derselben Verschiebung des Krystalls, wenn er nur von Luft umgeben ist, aufgewandt werden muss.

2500. In einer gesättigten Lösung von Eisenvitriol (als einem magnetischen Medium) aufgehängt, stellte sich derselbe Krystall anscheinend ohne jegliche Aenderung wie früher ein; auch in diesem Falle entsprach die Torsionskraft, welche zur Verschiebung und Ueberführung des Krystalls in die diametrale Lage erforderlich war, fünf Umgängen des Torsionszeigers.

2501. Ob also Wismuthkrystalle von Luft, Wasser oder Eisenvitriollösung umgeben sind, oder sich zwischen dicken Wismuthmassen befinden, — die Magnekrystallkraft, welche sie äussern, wenn sie derselben magnetischen Kraft ausgesetzt sind, bleibt der Art, Richtung und Grösse nach dieselbe.

2502. Es schien möglich, ja wahrscheinlich, dass die magnetische Kraft die Krystallisation des Wismuths und am Ende auch anderer Körper beeinflussen würde; denn da die Kraft auf die Masse eines Krystalls vermöge der Eigenschaft seiner Theilchen wirkt, welche sie dem ganzen Krystall durch ihren polaren (oder axialen (2472)) und symmetrischen Zustand verleihen, und da die schliessliche Lage der Krystallmasse im magnetischen Felde als die des kleinsten Zwanges angesehen werden kann, so war es wahrscheinlich genug, dass, wenn das Wismuth sich im flüssigen Zustande unter dem Einfluss des Magnetismus befände, die einzelnen Theilchen das Bestreben haben würden, eine und dieselbe axiale Lage einzunehmen, und dass hierdurch die Anordnung und Richtung der Krystallmasse bei ihrer Erstarrung in gewissem Grade bestimmt und beherrscht werden würde.

2503. Etwas Wismuth wurde demnach in einer Glasröhre geschmolzen und bis zu seinem Erstarren in dem starken magnetischen Felde in einer festen Lage gehalten, dann von seiner Glashülle befreit und so aufgehängt, um unter dem Einfluss des Magnets dieselbe Lage einnehmen zu können; allein es waren keine Anzeichen einer *Magnekrystall*kraft erkennbar. Ich erwartete nicht, dass das Ganze regelmässig krystallisirt sein, sondern dass ein *Unterschied* zwischen der einen und der anderen Richtung sich zeigen würde; allein nichts derart trat ein, in welcher Richtung auch immer das Stück aufgehängt war, und nach dem Zerbrechen zeigte sich die Krystallisation im Innern klein, verworren und in allen Richtungen. Vielleicht würde man, wenn man sich länger Zeit liesse und einen permanenten Magnet anwendete, ein besseres Resultat erzielen. Ich

hatte für die Einsicht in die krystallinische Beschaffenheit des Goldes, Silbers, Platins und der Metalle überhaupt, sowie auch anderer Körper, grosse Hoffnung auf dieses Verfahren gesetzt.

2504. Ich kann nicht finden, dass Wismuthkrystalle irgend eine dauernde oder vorübergehende Eigenschaft aus dem magnetischen Felde *mit sich nehmen.* Ich hielt Krystalle in verschiedenen Lagen in Stellen intensiver Wirkung des Feldes eines kräftigen Elektromagnets mit nahe an einander liegenden konischen Endstücken, nahm sie nach einiger Zeit fort und näherte sie augenblicklich einer sehr empfindlichen astatischen Magnetnadel, konnte aber nicht finden, dass sie auch nur die geringste besondere Wirkung, die einer solchen Behandlung zuzuschreiben wäre, ausübten.

2505. Da ein Wismuthkrystall dem Einfluss der magnetischen Kraftlinien unterliegt und ihm gehorcht (2479), so folgt, dass er auch der Erdwirkung gehorchen und von ihr, wenn auch in sehr schwachem Maasse, gerichtet werden müsse. Ich hängte einen guten Krystall an einem langen Coconfaden auf und schützte ihn, so gut ich konnte, durch concentrische Glasröhren vor Luftströmungen und glaube in der That Anzeichen einer Einstellung oder eines Richtens wahrgenommen zu haben. Der Krystall war so aufgehängt, dass die Magnekrystallaxe denselben Winkel (ungefähr 70^0) wie die Inclinationsnadel mit der Horizontalen machte, und die Axe schien das Bestreben zu haben, mit der Inclinationsrichtung zusammenzufallen; allein die Versuche verlangen eine sorgfältige Wiederholung.

2506. Ein hinsichtlich der Natur der polaren oder axialen Kräfte des Wismuths wichtigerer Punkt ist der, zu wissen, ob zwei Krystalle oder gleichförmig krystallisirte Massen von Wismuth eine Wirkung auf einander ausüben, und wenn es so ist, welcher Natur diese Wirkungen sind, welche Beziehung die äquatorialen und Endtheile, und welche Richtung die Kräfte haben. Ich habe hierüber sowohl innerhalb als ausserhalb des magnetischen Feldes viele Versuche angestellt, aber das Resultat war ausschliesslich negativ. Ich wandte jedoch kleine Wismuthmassen an und habe die Absicht, die Versuche zu gelegenerer Zeit mit grösseren, wenn nöthig, in der oben (2483) beschriebenen Weise zusammengesetzten Massen zu wiederholen.

2507. Ich brauche kaum zu sagen, dass ein Wismuthkrystall sich in einem von einem elektrischen Strome durchflossenen Schraubendraht oder Drahtringe so einstellen muss, dass seine Magnekrystallaxe der Axe des Ringes oder des Schraubendrahtes parallel ist. Der Versuch zeigt, dass dies der Fall ist.

II. Krystallpolarität des Antimons.

2508. *Antimon* ist ein *magnekrystallischer* Körper. In der oben (2457) beschriebenen Weise hergestellte krystallinische Massen wurden mit Kupferwerkzeugen zerbrochen und so einige ausgezeichnete Krystallgruppen erhalten im Gewichte von je zehn bis zwanzig Gran, deren constituirende Krystalle gleichförmig gelagert zu sein schienen. Die einzelnen Krystalle waren im Ganzen sehr gut und viel häufiger als die des Wismuths vollständig und voll an den Flächen. Sie waren ganz blank, hatten ein stahlgraues oder silberartiges Aussehen und sicherer als beim Wismuth erschienen sie dem Auge als Würfel, obwohl sie hier und da deutliche rhomboidale Flächen sehen liessen. Die Ecken können durch Spaltungsebenen ersetzt werden, und wie beim Wismuth, so giebt es im Allgemeinen auch hier eine Ebene, die glänzender und vollkommener ist als die übrigen.

2509. In erster Linie wurde festgestellt, dass alle diese Krystalle stark diamagnetisch waren.

2510. Demnächst überzeugte man sich, dass sie alle wie Wismuth die magnekrystallischen Erscheinungen mit beträchtlicher Stärke und dabei das Vorhandensein einer Kraftlinie zeigten (2470), welche bei verticaler Lage dem Krystall freie Bewegung in jeder Richtung gestattete (2476), bei horizontaler Lage aber den Krystall richtete, und die selbst eine zu der durch den Krystall gehenden Resultirenden der magnetischen Kraft parallele Lage einnahm (2479). Diese Linie ging wie beim Wismuth von einer Ecke zur gegenüberliegenden und war rechtwinkelig zu der eben erwähnten blanken Spaltungsebene (2508).

2511. Sonach war allgemein die Wirkung des Magnets auf diese Krystalle dieselbe wie auf die Wismuthkrystalle; es gab jedoch auch einzelne Abweichungen, welche eine nähere Angabe und Hervorhebung verlangen.

2512. Zunächst bewegte sich ein gewisser Krystall, wenn die Magnekrystallaxe horizontal war, bei Erregung der magnetischen Kraft langsam in seine Lage und stellte sich auf einmal fest ein. Aus dieser Lage nach der einen oder anderen Seite herausgebracht, kehrte der Krystall auf einmal in dieselbe zurück, ohne Schwingungen zu machen. Andere Krystalle thaten dies nur unvollkommen, andere wiederum machten eine oder vielleicht zwei Schwingungen, aber bei allen hatte es den Anschein, als ob sie sich in einer zähen Flüssigkeit bewegten, und sie waren hierin ganz unähnlich dem Wismuth, das frei und leicht Schwingungen vollführte (2459).

2513. Wenn ferner die Krystalle so aufgehängt waren, dass ihre Magnekrystallaxe vertical lag, so erfolgte weder Einstellung, noch gab es sonst irgend ein Anzeichen einer Magnekrystallkraft, aber es traten andere Erscheinungen auf. Wenn nämlich die Krystallmasse in Umdrehung versetzt wurde, so blieb sie bei Erregung der Magnetkraft plötzlich stehen

und wurde festgehalten, und zwar konnte die Lage, in der dies geschah, wie die Erfahrung lehrte, jede beliebige sein. Wenn sie sich aber mit ihrer grössten Abmessung ausserhalb der axialen oder äquatorialen Lage befand, so folgte dem Stillstand bei Unterbrechung des elektrischen Stromes eine *rückstossartige* Bewegung (2315), die nicht eben gross war, am grössten dann, wenn die Längsrichtung der Masse mit der Axe des magnetischen Feldes einen Winkel von etwa 45^0 bildete.

2514. Eine nähere Untersuchung ergab, dass dieses Stillstehen und der Rückstoss eine Wirkung ganz derselben Art war, wie die früher beim Kupfer und anderen Metallen beobachtete (2309), und von derselben Ursache herrührte, nämlich von den kreisförmigen elektrischen Strömen, die die inducirende Kraft des Magnets in dem Metall hervorruft. Nunmehr sieht man ein, wesshalb in dem früheren Falle die Antimonkrystalle keine Schwingungen ausführten (2512) und warum sie sich in ihre Ruhelage mit Plötzlichkeit begaben; denn die bei der Bewegung erzeugten Ströme sind gerade diejenigen, welche die Bewegung zu hemmen suchen (2329).[1]) Die Magnekrystallkraft reichte zwar aus, den Krystall in Bewegung zu setzen und zu richten, aber gerade in Folge der durch sie hervorgebrachten Bewegung entstand der Strom, welcher der Bewegung entgegenwirkte und so verursachte, dass die Masse auf ihre Ruhelage zuging, als ob sie sich in einer zähen Flüssigkeit bewegte.

2515. Mit dieser erweiterten Erkenntniss über das Stillstehen und den Rückstoss des Antimons (Erscheinungen, die von der grösseren Leitungsfähigkeit, welche dasselbe in diesem dichten krystallinischen Zustande im Vergleich zum Wismuth besitzt, herrühren) hat es keine Schwierigkeit, die Identität der Magnekrystallkraft dieses Metalls mit der des vorigen festzustellen und sich von der Uebereinstimmung der Resultate in allen wesentlichen Charakteren und Einzelheiten zu überzeugen. In den meisten Stücken von Antimonkrystallen schien die Kraft geringer zu sein als im Wismuth, aber in Wahrheit ist es am Ende nicht so, denn die eben beschriebene Wirkung des Inductionsstromes hat den Erfolg, die magnekrystallischen Erscheinungen zu verhüllen.

2516. Mehrere Antimonstücke schienen auch hinsichtlich der Kraft, mit welcher sie sich einstellen, und hinsichtlich ihrer Neigung zu Rückstosserscheinungen von einander verschieden zu sein, aber diese Unterschiede sind nur scheinbar oder lassen sich leicht erklären. Die Erscheinung des

---

[1]) Wer sich eine genügende Vorstellung von der Hemmkraft dieser Inductionsströme verschaffen will, hänge eine Luppe massiven Kupfers im Gewichte von $^1/_4$ bis $^1/_2$ Pfund von annähernd würfelförmiger oder kugelförmiger Gestalt an einem langen Faden auf, versetze sie in rasche Umdrehung und bringe sie, während sie herumwirbelt, in das magnetische Feld des Elektromagnets und er wird finden, dass ihre Bewegung augenblicklich gehemmt ist, und es wird ihm nicht möglich sein, sie im magnetischen Felde von Neuem in Wirbeldrehung zu versetzen.

Stillstehens und Rückstosses hängt in erheblichem Maasse von der Continuität der Masse ab, so dass ein grosses Stück sie besser zeigt als mehrere kleine, und diese wiederum besser als die pulverisirte Substanz. Selbst beim Kupfer kann die Rückstosserscheinung durch Zerkleinerung der Luppe in Feilspäne gänzlich zerstört werden. Es ist daher leicht einzusehen, dass von zwei in sich symmetrisch angeordneten Gruppen von Antimonkrystallen die eine aus grösseren, wohl zusammenhängenden Krystallen bestehen kann, so dass die Induction der Ströme durch die ganze Masse gut erfolgen kann, die andere aber aus kleineren Krystallen, die nicht so gut zusammenhängen. Die Erscheinungen der Hemmung der Bewegung und des späteren Rückstosses werden also bei ihnen in sehr verschiedenem Maasse auftreten, und aus demselben Grunde werden sich auch die magnekrystallischen Erscheinungen bei ihnen verschieden zeigen, obschon sie die Kraft in genau gleichem Maasse besitzen könnten.

2517. Als ich darauf Versuche mit Antimonplatten anstellte, erhielt ich weitere Beispiele der Erscheinungen, deren Ursache eben erwähnt worden ist, und eine Fülle von Beweisen für die Existenz des magnekrystallischen Zustandes in dem Metall. Die Platten waren wie beim Wismuth aus zerbrochenen Massen ausgelesen (2480). Bald waren einige gefunden, die einfach, augenblicklich und gut wirkten; ihre breiten Seiten waren glänzende Spaltungsflächen. An irgend einer Stelle des Randes aufgehängt, kehrten sich diese Flächen den Magnetpolen zu, und die Platte oscillirte um ihre Endlage und kam allmählich zur Ruhe.

2518. Mit ihren Flächen horizontal aufgehängt, zeigten die Platten keine Richtkraft im magnetischen Felde. Waren sie geneigt, so nahmen die Punkte, welche am tiefsten unter der Horizontalebene und am höchsten über derselben lagen, die den Magnetpolen nächsten Orte ein (2482).

2519. Waren mehrere Platten zu einem Bündel vereinigt (2483), so war der *diamagnetische* Effect aufgehoben und die magnekrystallische Oscillation und Einstellung erfolgte sehr leicht und war charakteristisch.

2520. Es gab also offenbar in allen diesen Fällen eine zu den Flächen der Platte rechtwinkelige magnekrystallische Kraftlinie, der Lage und Wirkung nach vollkommen übereinstimmend mit der eben an Antimonkrystallen aufgefundenen Kraft.

2521. Eine andere Antimonplatte, die nun ausgewählt wurde und ganz danach aussah, dass sie alle die Erscheinungen der vorigen Platten zeigen würde, gab jedoch, am Rande aufgehängt, kein Anzeichen einer magnekrystallischen Wirkung. Denn zuerst rückte sie ein wenig vor (2310), dann blieb sie stehen und behielt ihren Platz, und wenn, während sie sich zwischen der axialen und äquatorialen Lage befand, der Batteriestrom unterbrochen wurde, so sprang sie zurück und zeigte dieselben Erscheinungen wie das Kupfer (2315). Viele andere Platten gaben ganz dasselbe Resultat.

2522. In dem Felde von grosser Intensität zwischen zwei konischen Magnetpolen zeigte diese Platte (2521) dieselben Erscheinungen, allein trotz-

dem sie eine Hemmung erlitt, bewegte sie sich doch langsam, bis zur äquatorialen Lage, — ein Resultat, welches wahrscheinlich von einer gleichzeitigen Aeusserung der *magnekrystallischen* und *diamagnetischen* Kraft herrührte. War die Platte mit ihren Flächen horizontal aufgehängt, so traten die Hemmungs- und Rückstosserscheinungen nicht auf, da die dieselben verursachenden Inductionsströme nothwendig nun in der Verticalebene existiren können. Auch hatte sie kein Richtungsvermögen, woraus sich ergab, dass weder in der Längsseite noch in der Breitseite der Platte eine Axe der Magnekrystallkraft existirte.

2523. Andere Platten gaben gemischte Resultate, und zwar in verschiedenem Grade. So führten einige gleich der ersten ungehindert Schwingungen aus, stellten sich gut ein und gaben kein Anzeichen einer Hemmungs- und Rückstosserscheinung. Bei anderen waren die Schwingungen gedämpft, sie stellten sich gut ein und zeigten eine Neigung stehen zu bleiben. Andere richteten sich gut, kamen aber mit Plötzlichkeit zur Ruhe, wie wenn sie sich in einer Flüssigkeit bewegten; wenn die Magnetkraft zum Verschwinden gebracht wurde, ehe die Platte sich eingestellt hatte, so erfuhr sie einen schwachen Rückstoss. Andere wiederum wurden auf einmal festgehalten; stellten sich (so weit meine Beobachtung reichte) nicht ein und erlitten einen kräftigen Rückstoss.

2524. Eine sorgfältige Untersuchung mittelst des Hufeisenmagnets (2485) sowohl als auch mittelst des grossen Elektromagnets (2247) liess endlich die Ursache dieser Verschiedenheit der Wirkungen erkennen.

2525. Zunächst sei bemerkt, dass sich zuweilen eine Antimonplatte (2517) fand, deren Flächen sehr blank und anscheinend vollkommen waren, so dass man Grund hatte zu glauben, dass sie sich im magnetischen Felde gut einstellen würde, es unter dem Einfluss des Hufeisenmagnets aber nicht that, sondern sich schief, mit schwacher Kraft und vielleicht in zwei nicht diametrale Lagen einstellte. Dies erklärt sich ohne Zweifel aus einer Complicirtheit und Verworrenheit der Krystallisation. Eine solche Platte, wenn sie hinlänglich breit und lang ist (d. h. nicht weniger als ein viertel oder ein drittel Zoll) zeigt jedoch unter dem Einfluss des Elektromagnets die Hemmungs- und Rückstosserscheinung (2310, 2315) ganz gut.

2526. Ferner müssen wir uns erinnern, dass, damit die Inductionsströme, welche die Hemmungs- und Rückstosserscheinung verursachen, sich ausbilden können, die Abmessungen der Platte in einer Verticalebene (2329) eine gewisse ausreichende Grösse haben müssen. Die Ströme treten in der Masse auf und nicht rings um die einzelnen Theilchen (2329), und die Resultirende der durch die Substanz gehenden magnetischen Kraftlinie ist die Axe, um welche die Ströme erregt werden. Dies ist der Grund, wesshalb die Erscheinung bei Platten, die in horizontaler Lage aufgehängt sind, nicht auftritt, während sie sich bei verticaler Lage derselben ganz gut zeigt. Dasselbe ist der Fall bei einer einen halben Zoll im Durchmesser

haltenden dünnen Scheibe von Kupfer, Silber, Gold, Zinn oder fast jedem hämmerbaren Metall, doch sind die besten Leiter am geeignetsten hierzu. Diese Bedingung ist jedoch ohne Bedeutung für den *magnekrystallischen* Vorgang, und bei gleicher Masse äussert eine schmale Platte dieselbe Kraft wie eine breite. Die erste Platte, die ich ausgewählt hatte (2517), war gut krystallisirt, dick und schmal, folglich gut geeignet für die magnekrystallische Wirkung, aber nicht für die Hemmungs- und Rückstosserscheinung, und sie lieferte auch kaum ein Anzeichen der letzteren.

2527. An einer breiten und gut krystallisirten Platte zeigen sich beide Reihen von Erscheinungen. Wenn beispielsweise die Platte rotirt, so wird bei Erregung der Magnetkraft ihre Geschwindigkeit einen Augenblick beschleunigt, bald darauf aber gehemmt und erleidet bei plötzlichem Verschwinden des Magnetismus einen Rückstoss, ganz so wie ein Stück Kupfer (2315). Unterhält man jedoch den Magnetismus, so erkennt man, dass die Hemmung nur scheinbar ist, denn die Platte bewegt sich, wenn auch mit sehr verringerter Geschwindigkeit, so lange, bis sie ihre magnekrystallische Lage eingenommen hat. Sie bewegt sich wie in einer zähen Flüssigkeit. Die Magnekrystallkraft ist also vorhanden und äussert ihre volle Wirkung, und der Grund, wesshalb die Erscheinungen anders sind, ist der, dass gerade in Folge der Bewegung, welche die Kraft der Masse ertheilt, die magnetoelektrischen Ströme entstehen (2329), welche in Wechselwirkung mit dem Magnet die Bewegung zu hemmen suchen; daher deren Langsamkeit und schliesslich die plötzliche Einstellung (2512, 2523).

2528. Ein schwächerer Magnet (wie etwa der oben beschriebene Hufeisenmagnet (2485)) bringt schwächere Inductionsströme hervor, offenbart aber gut die Magnekrystallkraft. Daher eignet er sich unter gewissen Umständen besser für derartige Untersuchung, da er die eine Wirkung von der anderen unterscheiden lässt.

2529. Man sieht leicht ein, dass die Schwingungen von Platten aus demselben oder verschiedenem Metall auch nicht einmal zu einem rohen Vergleich ihrer Magnekrystallkraft dienen können; denn unter dem Einfluss dieser Inductionsströme schwingen Platten von gleicher Magnekrystallkraft in sehr verschiedener Weise. Ich kittete (2458) Papier auf die Seiten einer Platte und beobachtete ihr Verhalten im magnetischen Felde; sie stellte sich langsam ein und zeigte die Hemmungs- und Rückstosserscheinungen (2521). Als ich sie darauf in einem Mörser in viele Stücke zerdrückte, die jedoch an ihrem Platze blieben, stellte sie sich mit grösserer Freiheit und rascher ein und erlitt nur einen sehr schwachen Rückstoss.

2530. Obwohl demnach die Schwingung nur eine unsichere Angabe liefert, so bietet uns doch die Torsionskraft, wie ich glaube, ein sehr genaues Schätzungsmittel für die Stärke der Einstellung (2500) und demnach für die Grösse der Magnekrystallkraft. Ein Seidenfaden giebt vielleicht ein wenig nach, aber ein Glasfaden, wie ihn Ritchie empfiehlt, eignet sich vollkommen diesem Zwecke.

2531. Antimon muss in Richtung der Krystallplatten die Elektricität gut leiten, denn sonst würde es nicht so gut die Rückstosserscheinung zeigen. Die Gruppen von Antimonkrystallen (2508) zeigten dieselben in solchem Maasse, dass mir die constituirenden Würfel ein in allen Richtungen nahezu gleiches Leitungsvermögen zu besitzen scheinen. Fein krystallisirtes oder körniges Antimon zeigt sie jedoch nicht in demselben Maasse, wonach es scheinen würde, als ob dies dieselbe Folge hätte, wie etwa die Zertheilung an der Grenze zweier incongruenter Krystalle oder zwischem den aneinanderstossenden Platten der Krystalle, so dass das Leitungsvermögen in diesen Richtungen eine Aenderung erleidet.

III. Krystallpolarität des Arsens.

2532. Eine Masse metallischen Arsens von krystallinischer Structur (2480) wurde zerbrochen und aus den Bruchstücken einige Platten mit guten Spaltungsflächen von ungefähr 0,3 Zoll Länge, 0,1 Zoll Breite und 0,03 Zoll Dicke ausgelesen. Einem konischen Pole gegenüber aufgehängt, erwiesen sie sich vollkommen diamagnetisch, und vor demselben oder zwischen zwei Polen stark *magnekrystallisch.* Ich besitze ein Paar flache Pole mit Schraubenlöchern in der Mitte der Flächen, welche, wenn die Flächen einen halben Zoll von einander abstehen, die Intensität der magnetischen Kraftlinien um die Mitte des Feldes so bedeutend schwächen, dass ein Cylinder körnigen Wismuths von 0,3 Zoll Länge sich *axial* oder von Pol zu Pol einstellt (2384). Allein Arsenplatten zeigten zwischen denselben Polen keine derartige Neigung, so sehr überwog die Magnekrystallkraft dieser Substanz ihre diamagnetische Kraft.

2533. Mit ihren Flächen horizontal aufgehängt, richteten sich die Arsenplatten zwischen den flachen Polen gar nicht. Eine Neigung der Flächen gegen die Horizontale bewirkte Einstellung mit um so grösserer Kraft, je mehr die Flächen sich der Verticallage näherten, ganz so wie es bereits beim Wismuth und Antimon beschrieben wurde (2482, 2518).

2534. Demnach besitzt Arsen wie Wismuth und Antimon die magnekrystallische Kraft oder Eigenschaft.

Royal Institution,
23. September 1848.

ZWEIUNDZWANZIGSTE REIHE (Fortsetzung).[1])

§ 28. Ueber die Krystallpolarität des Wismuths und anderer Körper, und über ihre Beziehung zur magnetischen und elektrischen Kraftform (Fortsetzung). IV. Krystallzustand verschiedener Körper. V. Natur der Magnekrystallkraft und allgemeine Betrachtungen.

Eingegangen am 31. October, — Gelesen am 7. December 1848.

IV. Krystallzustand verschiedener Körper.

2535. *Zink.* — Die Erscheinungen, welche Zinkplatten, die aus krystallisirten Massen ausgebrochen waren, darboten, waren unregelmässig und da sie sich magnetisch in Folge von Unreinheit erwiesen, so sind am Ende sämmtliche Erscheinungen diesem Umstande zuzuschreiben. Reines aus einer Chlorid- und einer Sulphatlösung elektrolytisch auf Platin niedergeschlagenes Zink, das eine in dendritischen Verzweigungen kleiner Krystalle, das andere in dichter Form erhalten, war nicht magnetisch, aber gut diamagnetisch, zeigte jedoch keine Spur einer Magnekrystallkraft.

2536. *Titan.*[2]) — Einige gute Titankrystalle, die aus dem Boden eines Hochofens stammten, wurden durch abwechselnde Behandlung mit Säuren und Flussmitteln so gut als möglich von Eisen gereinigt, waren dann glänzend und zeigten sich wohl ausgebildet. Sie waren magnetisch (2371), enthielten aber Eisen, wie ich glaube, durch ihre ganze Masse verbreitet, denn Königwasser zog bei langem Kochen fortwährend Titan und Eisen aus. Diese Krystalle zeigten ein gewisses magnetisches Verhalten, das ich ihrer krystallischen Beschaffenheit zuzuschreiben geneigt bin. Zwischen den Polen des Elektromagnets stellten sie sich ein, auch dann noch, wenn der Magnet durch Unterbrechung des elektrischen Stromes geschwächt war. Sich selbst überlassen, nahm der Krystall stets *dieselbe* Lage ein, was be-

---

[1]) Philosophical Transactions, 1849, p. 19.

[2]) Diese und viele andere Krystalle verdanke ich der Güte Sir Henry T. De la Beche's und Tennant's.

weist, dass er beständig in derselben Richtung magnetisch war. Wenn aber ein Krystall während der Fortdauer des elektrischen Stromes in einer anderen Lage festgehalten und nach Unterbrechung des Stromes losgelassen wurde, so stellte er sich in dieser neuen Richtung zwischen den Polen des geschwächten Magnets ein, zum Beweise, dass der Magnetismus in der Krystallmasse nun eine andere Richtung hatte als vorher. Wurde nunmehr der Magnet abermals durch den elektrischen Strom verstärkt, so sprang der Krystall augenblicklich herum und sein Magnetismus hatte nun die ursprüngliche Richtung angenommen. In der That liessen sich die Krystalle in jeder Richtung magnetisiren, aber es gab eine Richtung, in welcher sie leichter und stärker magnetisirt werden konnten als in irgend einer anderen. Dem Aussehen nach bin ich geneigt, dies der krystallischen Beschaffenheit zuzuschreiben, aber möglicherweise rührt es von einer unregelmässigen Vertheilung von Eisen in der Titanmasse her. Die Krystalle waren zu klein, um hierüber Aufklärung zu erhalten.

2537. *Kupfer.* — Gute Krystalle natürlichen Kupfers, sorgfältig aus der Masse ausgelesen, untersuchte ich auf ihre Magnekrystallkraft. Mit dem Hufeisenmagnet (2486) liess sich dieselbe nicht nachweisen, in welcher Richtung die Krystalle auch aufgehängt werden mochten, sondern sie blieben in jeder Lage stehen, und jeder auch noch so geringen Torsion, welche man dem oberen Ende des Aufhängungsfadens ertheilte, folgte der Krystall unten ohne Weiteres und vollständig. Unter Einfluss des Elektromagnets traten, wie sich erwarten liess, die Erscheinungen der Hemmung und des Rückstosses auf (2513, 2310). Sobald er einmal zum Stehen gekommen war, rückte der Krystall, während die Magnetkraft in Thätigkeit blieb, auch nicht langsam in eine bestimmte Richtung vor (2512), sondern blieb in jeder Lage vollkommen still stehen. Es war also hier keine magnekrystallische Wirkung wahrzunehmen.

2538. *Zinn.* — Aus Block- und Kornzinn wählte ich einige Stücke aus, welche ihrer äusseren Gestalt und dem Aussehen nach, welches die Oberfläche unter Einfluss von Säuren annahm, eine regelmässige krystallinische Structur im Innern zu besitzen schienen, doch boten daraus herausgeschnittene Stücke keinerlei magnekrystallische Erscheinungen dar. Anzeichen von Hemmungs- und Rückstossvorgängen sowie von diamagnetischer Kraft traten auf, sonst aber nichts. Ich untersuchte auch einige chemisch reine, auf elektrolytischem Wege erhaltene Zinnkrystalle; sie waren magnetisch, erlitten Hemmung und Rückstoss, lieferten aber kein Anzeichen einer magnekrystallischen Wirkung.

2539. *Blei.* — Durch Schmelzen, theilweises Erstarrenlassen und Abgiessen (2457) erhielt ich einige sehr schöne Bleikrystalle von im Allgemeinen octaëdrischer Gestalt. Unter dem Einfluss des Magnetismus erlitten sie Hemmung und schwachen Rückstoss, zeigten aber keine magnekrystallischen Erscheinungen. Einige elektrochemisch, durch Zersetzung des

Acetats mittelst Zink erhaltene schön krystallinische reine Bleiplatten erwiesen sich dem Magnet ausgesetzt diamagnetisch, erfuhren Hemmung und Rückstoss, gaben aber kein Anzeichen einer magnekrystallischen Erscheinung.

2540. *Gold.* — Drei schöne grosse Goldkrystalle, die ich untersuchte, waren diamagnetisch und wurden leicht zum Stillstand gebracht (2310, 2340), ein Rückstoss erfolgte wegen ihrer octaëdrischen oder rundlichen Form nicht. Magnekrystallische Erscheinungen boten sie nicht dar.

2541. *Tellur.* — Zwei dem Versuche unterworfene Bruchstücke dieser Substanz mit grossen und parallelen Spaltungsflächen stellten sich zwischen flachen Polen (2463) so ein, dass ihre grösste Abmessung quer war zu der axialen Linie. Ich glaube, dass die Erscheinung theilweise, wenn nicht gänzlich, von der magnekrystallischen Beschaffenheit dieser Substanz herrührte, halte es aber nicht für ganz entscheidend bewiesen.

2542. *Osmium-Iridium.* — Die natürlichen Körner von Osmium-Iridium sind oft flach, zeigen zwei Flächen, die wie Krystallebenen aussehen, welche selbst bei dicken Körnern einander parallel liegen. Einige der grössten und krystallinischsten wurden ausgesucht und nach Glühen mit Flussmitteln und Digestion mit Königswasser dem Magnet ausgesetzt. Einige waren magnetischer als andere und wurden angezogen; andere, die sehr wenig magnetisch waren, wurden zu sorgfältigerer Untersuchung ausgewählt. Alle diese richteten sich mit verhältnissmässig grosser Leichtigkeit und Kraft; denn sie waren nicht über ein fünfzehntel Zoll lang und stellten sich doch leicht ein, wenn die Magnetpole 3 bis 4 Zoll von einander abstanden. Die Krystalltheilchen hatten ihre Seitenflächen *immer* den Polen zugekehrt und ihre Längsrichtung lag daher nicht *in*, sondern *quer* zu der axialen Linie, gleichviel ob der Abstand der Pole klein oder gross war, ob man flache oder konische Pole anwandte. Ich glaube, dass sie magnekrystallisch waren.

2543. *Leicht schmelzbares Metall.* — Krystalle von leicht schmelzbarem Metall (2457) stellten sich ein, aber die Krystalle, anscheinend vierseitige Platten oder Prismen waren nicht gut und die Erscheinung daher nicht deutlich und bestimmt.

2544. *Drähte.* — Ich hielt es für möglich, dass die Theilchen dünner Drähte, welche nach Behandlung mit Säuren ein faseriges Gefüge zeigten, eine der krystallinischen sich annähernde Beschaffenheit haben könnten, und ich unterwarf daher Drahtbündel von Platin, Kupfer und Zinn dem Einfluss des Magnets, jedoch ohne Anzeichen einer magnekrystallischen Wirkung auftreten zu sehen.

2545. Ich unterwarf mehrere Metallverbindungen dem Einfluss des Magnets, so dass sich etwaige magnekrystallische Erscheinungen hätten zeigen müssen. Bleiglanz, natürlicher Zinnober, Zinnoxyd, Schwefelzinn, Rothkupfererz, Brookit oder Titanoxyd, Eisenkies, auch Diamant, Flussspath, Steinsalz und Boracit, sämmtlich gut krystallisirt und diamagnetisch, lieferten

kein Anzeichen von Magnekrystallkraft. Natürliches und gut krystallisirtes Schwefelkupfer, Schwefelzink, Cobaltglanz und Leucit waren magnetisch. Arseneisen, Eisenglanz und Eisenoxyduloxyd waren noch stärker magnetisch. Bei keinem von ihnen vermochte ich eine magnetische Erscheinung wahrzunehmen, die der Krystallisation zuzuschreiben wäre.

2546. Von magnetischen Salzen zeigten mehrere sehr frappante magnekrystallische Erscheinungen. So liess ein *Eisenvitriol*krystall, den ich zuerst untersuchte, mit der magnekrystallischen Axe vertical aufgehängt, nichts Besonderes erkennen, es stellte sich nur die grösste Horizontalabmessung schwach in die magnetische Axe. Als aber der Krystall um 90^0 gedreht wurde (2470), richtete er sich augenblicklich mit grosser Kraft, so dass die grösste Abmessung äquatorial zu liegen kam. Der Krystall bestand aus über einander liegenden flachen Krystallindividuen oder Tafeln, und die Magnekrystallaxe ging quer zu ihnen. Nach einigen Versuchen war es daher leicht vorherzusagen, wie der Krystall aufgehängt werden musste und wie er sich einstellen würde. Die Krystalle mochten lang oder schief oder unregelmässig sein, die Magnekrystallkraft war vorherrschend und bestimmte die Lage des Krystalls, gleichviel ob die Pole spitz oder flach, ob sie wenig oder weit von einander abstanden. Die Magnekrystallaxe ist genau oder nahezu rechtwinkelig zu zwei der Seiten des rhombischen Prisma's. Ich besitze einige kleine prismatische Krystalle, die dreimal so lang als breit sind; wenn nun die Längsseite und die Magnekrystallaxe horizontal liegen, so wird sich die Längsseite nicht in die axiale Richtung stellen, die Kraft des Magnets und die Gestalt oder Lage der Pole mag sein, welche sie wolle; vielmehr wird dieselbe beständig von der Magnekrystallaxe eingenommen, so sehr überwiegt ihr Einfluss die bloss magnetische Kraft des Krystalls. Dennoch ist die letztere so gross, dass sie mitunter den Aufhängungsfaden zerreisst, wenn der Krystall über den Polen hängt (2615).

2547. *Nickelsulphat.* — Ein im magnetischen Felde aufgehängter Krystall von Nickelsulphat stellte sich mit seiner Längsrichtung axial. Dies konnte eine Folge entweder von magnetischer Kraft ausschliesslich oder theilweise von magnekrystallischer Kraft sein. Ich schnitt daher einen Würfel aus dem Krystall derart, dass zwei seiner Flächen senkrecht waren zur Längsrichtung des ursprünglichen Prisma's. Dieser Würfel stellte sich im magnetischen Felde gut ein, so dass die mit der Axe des Prisma's zusammenfallende Linie sich axial richtete und die Magnekrystallaxe vorstellte. Selbst wenn der Würfel in dieser Richtung verkürzt und in eine quadratische Platte verwandelt wurde, deren Dicke mit der Magnekrystallaxe zusammenfiel, so richtete sie sich ebenso gut wie früher, doch waren nun die kürzesten Dimensionen axial.

2548. *Ammonium-Eisensulphat* und *schwefelsaures Manganoxydul* zeigten keinerlei magnekrystallische Erscheinung; *Ammonium-Mangansulphat* that es, glaube ich, wohl, aber die Krystalle waren nicht gut;

Kaliumsulphat und Nickelsulphat sind magnekrystallisch. Alle drei Salze sind magnetisch.

2549. Somit sieht man, dass ausser Wismuth, Antimon und Arsen auch noch andere Körper magnekrystallische Erscheinungen darbieten. Zu diesen gehören Osmium-Iridium, wahrscheinlich Tellur und Titan und sicherlich die Sulphate des Eisens und Nickels. Ehe ich diesen Gegenstand verlasse, will ich bemerken, dass diese Eigenschaft mich wahrscheinlich früher (2290) manchmal zu Irrthümern verleitet hat. In Bezug auf das Arsen (2383) könnte hieraus sehr leicht ein Versehen entstanden sein.

V. Ueber die Natur der Magnekrystallkraft und allgemeine Betrachtungen.[1])

2550. Die Magnekrystallkraft scheint sich sowohl von den magnetischen als auch den diamagnetischen Kräften darin sehr deutlich zu unterscheiden, dass sie weder ein Annähern noch ein Zurückweichen bewirkt, sich nicht in Anziehung oder Abstossung äussert, sondern darin, dass sie der unter ihrem Einflusse stehenden Masse eine bestimmte Richtung verleiht, so dass eine gegebene Richtung in der Masse in eine bestimmte Lage zu der Richtung der äusseren magnetischen Kraft kommt.

2551. Ich hielt es für richtig, den Schluss, dass diese Kraft keinerlei anziehende und abstossende Wirkungen hat, mit sehr grosser Sorgfalt zu prüfen und zu erweisen. Zu diesem Ende construirte ich eine Torsionswaage mit Bifilaraufhängung. Die Coconfäden bestanden aus zwei Bündeln von sieben Einzelfäden, waren 4 Zoll lang und standen ein zwölftel Zoll auseinander. Von dem einen Ende des Hebels liess ich einen Wismuthkrystall (2457) herabhängen, so dass er in jeder Lage festgehalten werden konnte. Diese Waage wurde durch einen Glaskasten geschützt, an dessen Aussenseite das konische Endstück eines Poles des grossen Elektromagnets (2247) so aufgestellt war, dass es horizontal, rechtwinkelig zum Hebel der Torsionswaage, und dass der Wismuthkrystall in der Verlängerung der Axe des Poles lag, ungefähr einen halben Zoll von ihm entfernt, wenn Alles in Ruhe war. Dem anderen Pol, der sich in einem Abstande von 4 Zoll befand, war eine grosse Fläche gelassen, damit die magnetischen Kraftlinien von dem Ende des konischen Poles aus gleichsam divergirten und an Intensität rasch abnähmen. Die Grösse der Abstossung, welche der Magnet auf das Wismuth, als einen diamagnetischen Körper, ausübte, sollte entweder aus dem Abstande, bis zu welchem es abgestossen wurde, oder aus der Torsion, welche zur Zurückführung desselben in seine ursprüngliche Lage nothwendig war, erkannt werden, und zugleich sollte beobachtet werden, ob sich ein Unterschied zeigen würde, wenn die Magnekrystallaxe des Wis-

---

[1]) Siehe weiter unten 2836 etc.

muths das eine Mal axial oder parallel den magnetischen Kraftlinien, das andere Mal äquatorial lag.

2552. Der Krystall wurde also zuerst mit seiner Magnekrystallaxe parallel zu den magnetischen Kraftlinien gestellt und dann viermal nach einander um 90^0 in einer Horizontalebene gedreht, um ihn bei allen Lagen der Magnekrystallaxe zu beobachten; allein in keinem Falle liess sich ein Unterschied in der Grösse der Abstossung wahrnehmen. Bei anderen Versuchen war die Axe schief gestellt, aber das Resultat blieb dasselbe. Wenn also ein Unterschied vorhanden ist, so muss er äusserst klein sein.[1])

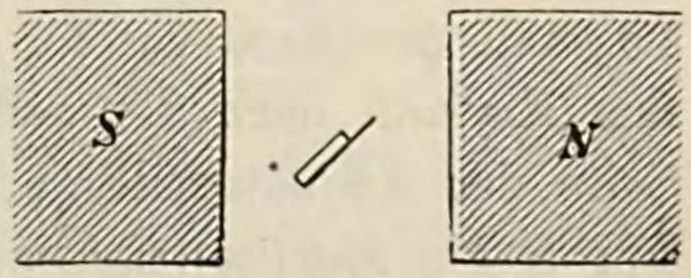
2553. Ein ähnlicher Versuch, bei welchem der Krystall gleich einem Pendel bifilar an 30 Fuss langen Coconfäden aufgehängt war, ergab dasselbe Resultat.

2554. Eine andere Reihe recht schlagender Beweise, dass die Wirkung nicht von Anziehung oder Abstossung herrührte, erhielt ich auf folgende Weise. Ein Bündel von fünfzehn, ungefähr 14 Zoll langen Coconfäden wurde mit dem oberen Ende befestigt und an das untere ein Gewicht von einer Unze und darüber gehängt. Die Mitte dieses Bündels befand sich in der Mitte des magnetischen Feldes des Elektromagnets und das quadratische Gewicht ruhte unten an der Seite eines Holzblocks, so dass man in dem Seidenfaden eine feste verticale Axe ohne Schwingung oder Drehung hatte. In der Mitte dieser Axe und quer zu ihr wurde ein kleiner Kartenstreifen von ungefähr einem halben Zoll Länge und einem zehntel Zoll Breite festgekittet und an demselben ein kleiner prismatischer Eisenvitriolkrystall von etwa 0,3 Zoll Länge und 0,1 Zoll Dicke so befestigt, dass dessen Längsseite und demnach auch die Magnekrystallaxe sich in der Horizontalebene befanden. Der Krystall lag mit seiner ganzen Länge an einer Seite der Fadenaxe, so dass, wenn er herumschwang, seine Länge den Radius des beschriebenen Kreises bildete und die Magnekrystallaxe parallel der Tangente desselben war.

2555. Die Ruhelage dieses Krystalls war von der Torsionskraft des Aufhängungsfadens bedingt und durch Drehung des unten hängenden Gewichts konnte ihm jede beliebige Lage gegeben werden. Die Torsionskraft war derart, dass der Krystall, wenn er in Schwingungen um die Fadenaxe versetzt wurde, vierzig ganze (oder Hin- und Her-)Schwingungen in einer Minute ausführte.

2556. Stellte man den Krystall schief zwischen den flachseitigen Polen (2463), wie in Fig. 4, so gerieth er, sobald der Magnet erregt ward, in Bewegung und suchte sich mit seiner Länge äquatorial oder mit seiner Magnekrystallaxe parallel zu den magnetischen Kraftlinien zu stellen. Wieder-

Fig. 4.



---

[1]) Siehe nunmehr 2839 etc.

holte man den Versuch nach Entfernung des Poles N, so erfolgte dieselbe Wirkung, wenn auch nicht in solcher Stärke wie vorher; wurde endlich der Pol S dem Krystall so nahe als möglich gebracht, ohne ihn zu berühren, so war die Wirkung stärker als im letzten Falle.

2557. In den beiden letzteren Versuchen *wich* also der Eisenvitriolkrystall, obwohl er ein magnetischer Körper ist und von einem Magnet wie der angewandte kräftig angezogen wird, vermöge seiner magnekrystallischen Eigenschaft wirklich von dem Magnetpol *zurück*.

2558. Wird der Pol S entfernt, und der Krystall nur der Wirkung des Poles N ausgesetzt, so nähert er sich dem letzteren, indem er zugleich von der magnetischen und der magnekrystallischen Kraft einen Antrieb erhält; wird aber der Krystall um 90^0 nach links oder um 180^0 nach rechts um die Fadenaxe gedreht, so dass er in die entgegengesetzte oder umgekehrte Lage gebracht wird, so stösst ihn dieser Pol ab oder bewirkt, dass er sich von ihm entfernt, gerade so wie es der andere Pol that. Der Versuch verlangt Sorgfalt, und ich finde konische Pole hierzu nicht gut geeignet, aber bei genügender Achtsamkeit konnte ich die Erscheinungen ganz leicht hervorrufen.

2559. Nun ersetzte ich den Eisenvitriolkrystall durch eine krystallinische Wismuthplatte (2480), welche wie dieser mit ihrer magnekrystallischen Axe horizontal an der einen Seite des Aufhängungsfadens befestigt wurde. Ich gab ihr dieselbe Lage in Bezug auf den Pol N wie in dem vorhergehenden Versuche (2556) dem Krystall, so dass sie sich also, um ihre Axe den magnetischen Kraftlinien parallel zu stellen, dem Magnetpole nähern musste. Wurde nun der Magnet erregt, so näherte sich die Wismuthplatte wirklich, entgegen dem diamagnetischen Antrieb, unter dem Einfluss der Magnekrystallkraft dem Pole. Die Wirkung war gering aber deutlich.

2560. Indem ich das Resultat des später zu gebenden Raisonnements (2607) einstweilen vorwegnehme, will ich eine ähnliche mit dem rothen Blutlaugensalz erhaltene Erscheinung beschreiben. Einen Krystall dieses Salzes, der durch Abschleifen seiner scharfen Kanten in eine Platte mit zu der Ebene der optischen Axe parallelen Flächen verwandelt war, brachte ich in die vorher von der Wismuthplatte eingenommene Lage (2556). Als der Magnet erregt wurde, bewegte er sich so, dass die Ebene der optischen Axe sich äquatorial stellte, wie es Plücker angegeben hat. Dasselbe geschah, wenn der Pol N entfernt und der Pol S dem Krystall genähert wurde; der Krystall *wich von* dem Pole *zurück*; und wenn der Pol S entfernt und N dem Krystall genähert wurde, so näherte sich dieser dem Pole. Neigte man den Krystall nach der anderen Seite, d. h. stellte man ihn auf die andere Seite der Aequâtoriallinie, so bewirkte der Pol S ein *Annähern* und der Pol N ein *Zurückweichen*. Es hatte also den Anschein, als ob ein und derselbe Pol eine und dieselbe Seite des Krystalls anzöge oder abstiesse, und man konnte bewirken, dass jeder der beiden Pole diese scheinbare anziehende und abstossende Kraft äussere.

2561. Dies ist ein Beweis, dass weder Anziehung noch Abstossung die Einstellung bewirkt oder die Endlage des Körpers oder irgend eines Körpers, dessen Bewegungen dieselbe Ursache haben (2607), bestimmt.

2562. Diese Kraft unterscheidet sich demnach in ihrem Charakter und ihren Wirkungen von der magnetischen und diamagnetischen Kraftform. Andererseits steht sie in ganz offenbarer Beziehung zur Krystallstructur des Wismuths und anderer Körper und hiermit auch zu den Molecülen und der Kraft, vermöge welcher sich aus diesen Molecülen Krystallmassen aufbauen können. Es scheint mir unmöglich, die Resultate anders aufzufassen, denn als eine Wechselwirkung der magnetischen Kraft und der Kraft der Krystalltheilchen auf einander, und dies führt zu dem weiteren Schluss, dass, insofern sie auf einander wirken können, sie gleicher Natur theilhaftig sind. Hierin liegt, glaube ich, ein neuer Beitrag zur Lösung des grossen Problems der Theorie der Molecularkräfte, welche für alle einen gemeinsamen Ursprung annimmt (2146).

2563. Ob wir einen Krystall oder ein Theilchen von Wismuth betrachten, so hat ihre Polarität einen im Vergleich zur Polarität eines Theilchens im gewöhnlichen magnetischen Zustande oder im Vergleich zum Dualismus irgend einer anderen physikalischen Kraft aussergewöhnlichen Charakter. Denn die entgegengesetzten Pole haben *gleiche* Charaktere, wie sich vor Allem aus der diametralen Einstellung der Massen (2461) und dann aus den physikalischen Charakteren und Beziehungen der Krystalle im Allgemeinen ergiebt. Da die Molecüle in der Masse eines Krystalls liegen, so können sie keineswegs den Zustand eines Bündels von Eisenfeilspänen zwischen den Polen eines Magnets oder von Eisentheilchen an dem angelegten Anker darstellen oder durch diese Zustände dargestellt werden. Denn diese haben Pole von *verschiedenem* Vorzeichen und der Fähigkeit, an einander zu haften und so eine Art Structur zu bilden, während in dem Krystall die Molecüle gleichartige Pole einander zuwenden, denn es sind, so zu sagen, alle Pole gleich.

2564. Die Erscheinungen lehren, dass die Magnekrystallkraft eine in die Ferne wirkende Kraft ist; denn der Krystall wird aus der Ferne durch den Magnet bewegt (2556, 2574) und kann selbst den Magnet aus der Ferne in Bewegung setzen. Um Letzteres zu bewirken, hängte ich eine etwa 3 Zoll lange magnetisirte stählerne Schnürnadel mittelst eines 4 Zoll langen einfachen Coconfadens senkrecht an ein horizontales Stäbchen auf, das selbst mittelst eines Coconfadens in der Mitte an einem festen Punkte aufgehängt war. Auf diese Weise konnte sich die Nadel frei um ihre Axe drehen und auch einen Kreis von $1^1/_2$ Zoll Durchmesser beschreiben. Diese letztere Bewegung war übrigens nicht durch ein Bestreben der Nadel, sich unter dem Einfluss der Erde zu richten, gehindert, da sie in dem Kreise jegliche Lage einnehmen und doch parallel mit sich selbst bleiben konnte.

2565. Aus einem Glasstab und Kupferdraht wurde ein von Magnetismus vollkommen unbeeinflusster Träger construirt, welcher durch den

Boden des Stativs ging, so dass er in der Verlängerung der oberen Drehungsaxe, also concentrisch mit dem Kreise war, welchen der kleine Magnet beschreiben konnte. Er ragte so weit in die Höhe, dass er einen Krystall oder eine andere Substanz im Niveau des Poles des unteren Endes der Nadel und im Centrum des kleinen Kreises, in welchem der Pol sich um ihn drehen konnte, zu tragen vermochte. Der Träger war auch verschiebbar, so dass sein oberes Ende dem Magnet genähert oder von ihm entfernt werden konnte. Das Ganze war mit einer Glasglocke bedeckt, und wenn es sich selbst überlassen eine gleichförmige Temperatur angenommen hatte, und die Nadel zur Ruhe gekommen war, so fand sich, dass diese unter dem Einfluss der Torsionskraft des Aufhängungsfadens eine *constante* Lage eingenommen hatte. Eine Drehung des aus Glas und Kupferdraht construirten Trägers änderte die Ruhelage der Nadel nicht; denn wenn auch die Luftbewegung den Magnet von der Stelle trieb, so kehrte er doch schliesslich eben dahin zurück. Von seinem Orte abgelenkt, oscillirte das System unter Einfluss der Torsionskraft des Aufhängungsfadens; die Dauer einer halben Schwingung oder eines Ganges in der einen Richtung betrug ungefähr drei Minuten, eine ganze Schwingung also sechs Minuten.

2566. Ein Wismuthkrystall, mit der Magnekrystallaxe in horizontaler Richtung an dem Träger befestigt, konnte dem unteren Pole des Magnets in jeder Lage nahe gebracht werden, und wenn er zwei bis drei Stunden oder so lange sich selbst überlassen blieb, bis eine wiederholte Prüfung ergeben hatte, dass der Magnetpol eine feste Lage eingenommen hatte, konnte die Lage des letzteren und die Grösse und Richtung der Einwirkung des Wismuths auf ihn bestimmt werden. Mit besonderer Sorgfalt musste man darauf achten, dass vor Beginn der Beobachtungen alle stählernen und eisernen Gegenstände, wie Brillen, Messer, Schlüssel u. s. w. entfernt würden; auch wurden Glasleuchter angewandt. Der Effect war nur gering, jedoch ergab sich, dass, wenn die Magnekrystallaxe mit der vom Magnetpol zur Mitte des Wismuthkrystalls gehenden Linie einen Winkel von 10^0, 20^0 oder 30^0 machte, der Pol ihr folgte und beide Linien zum Parallelismus zu bringen suchte. Dabei war es gleichgültig, welches Ende der Magnekrystallaxe dem Pole zugekehrt war oder nach welcher Seite es hinneigte. Durch successives Bewegen des Wismuths konnte die Ablenkung des Magnetpols auf 60^0 gebracht werden.

2567. Der Wismuthkrystall kann also aus der Ferne auf den Magnet wirken.

2568. Allein wenn auch diese Kraft den Charakter einer in die Ferne wirkenden Kraft hat, so beruht sie doch auf der Eigenschaft der Theilchen, vermöge welcher sie in regelmässiger Anordnung zusammenhängen und ihr krystallinisches Gefüge erhalten, und die wir sonst Cohäsionsanziehung nennen und oft nur als auf *unmerkliche* Entfernung wirkend ansehen.

2569. Um weitere Aufklärung über die Natur dieser Kraft zu erhalten, untersuchte ich nun den Einfluss der Wärme auf Wismuthkrystalle im magne-

tischen Felde. Die Krystalle waren an dünnen Drähten von Platin oder Kupfer aufgehängt und wurden bald direct durch eine kleine Spirituslampe, bald in einem zwischen den Magnetpolen aufgestellten Oelbade erwärmt. Obwohl in diesen Fällen der aufsteigende Strom der Luft und Flüssigkeit kräftig war, so war er doch viel zu schwach, um die von der Magnekrystallkraft bewirkte Einstellung zu überwältigen und trug vielmehr dazu bei, eine Schwächung oder ein Aufhören dieser Wirkung erkennen zu lassen.

2570. Steigerte man die Temperatur des Wismuthkrystalls in der Luft allmählich, so behielt er zunächst seine Richtkraft bei, wurde dann plötzlich in dieser Beziehung indifferent und drehte sich unter dem Einfluss der Luftströmung nach allen Richtungen. Als darauf die Flamme entfernt wurde, drehte sich der Wismuthkrystall langsam und regelmässig, als ob er keine Neigung hätte, eine Lage vor der anderen zu bevorzugen, oder als ob gar keine Magnekrystallkraft zurückgeblieben wäre; allein in wenigen Secunden weiterer Temperaturabnahme erhielt er seine Richtkraft wieder, anscheinend in einem Augenblick und in voller Stärke, und stellte sich genau in derselben Richtung wieder ein wie zu Anfang. Eine sorgfältige Untersuchung des Krystalls, seiner äusseren Gestalt und seiner Spaltbarkeit, zeigte, dass er als solcher sich nicht geändert hatte; allein ein kleines Wismuthkügelchen, welches an einer Stelle an der Oberfläche ausgeschwitzt war, bewies, dass die Temperatur dem Schmelzpunkte ganz nahe gewesen war.

2571. Im Oelbade ergab sich dasselbe Resultat, nur dass hier mehr Wismuth schmolz, da bei Entfernung der Lampe die Temperaturzunahme nicht sogleich aufhörte; etwa ein viertel des Metalls hing als Tropfen herunter. Bei der hohen Temperatur verlor die ganze Masse ihre Kraft und erhielt sie beim Erkalten in demselben Sinne, aber in geringerem Maasse wieder. Den Grund der Schwächung der Kraft erkannte man beim Zerbrechen des Krystalls; denn die verflüssigten Theile waren nun unregelmässig krystallisirt und daher am Ende des Versuches neutral, während sie zu Anfang desselben wirksam gewesen waren.

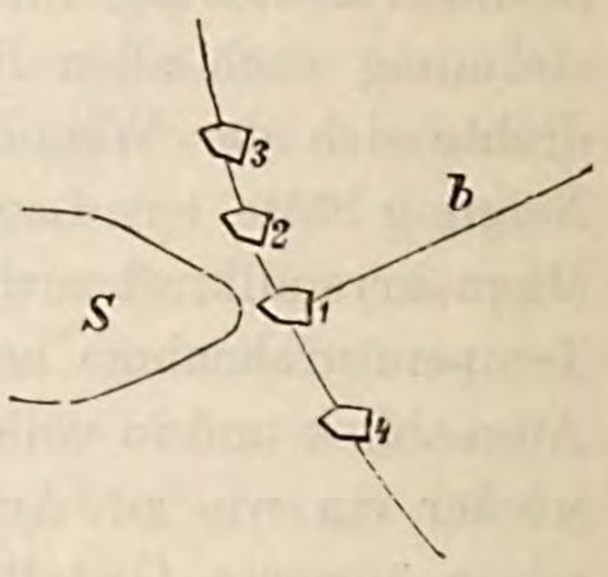
2572. Da die Wärme diese Wirkung ausübt, so ist die frühere Erwartung (2502), dass das Wismuth *im magnetischen Felde* regelmässig krystallisiren würde, natürlich unbegründet; denn das Metall muss den festen Zustand annehmen und seine Temperatur muss wahrscheinlich noch um mehrere Grade sinken, ehe es die magnekrystallischen Erscheinungen zeigt. Wenn die Wärme auf alle Körper dieselbe Wirkung vor deren Verflüssigung ausübt, so kann natürlich jener Process bei keinem von ihnen stattfinden.

2573. Ein Stück krystallisirtes Antimon verlor seine Magnekrystallkraft unterhalb dunkler Rothgluth, als es eben soweit erweicht war, dass es von dem Kupferstück, an welchem es hing, eingedrückt wurde. Beim Abkühlen nahm es seinen früheren Zustand nicht an, sondern war dann gewöhnlich magnetisch und richtete sich. Dies rührte, wie ich glaube, von Eisen her, das durch die Flamme und Wärme der Spiritusflamme frei

gemacht wurde*); denn da die Wärme stark genug war, um einen Theil des Antimons zu verbrennen und als Rauch von Antimonxoyd aufsteigen zu lassen, so könnte auch etwas Eisen in Freiheit gesetzt sein, welches unter dem Einfluss des Kohlenstoffs und Wasserstoffs der Flamme in stark magnetischem Zustande zurückblieb (2608).

2574. Zu weiterer Aufhellung der Wechselwirkung des Wismuths und Magnets wurde ersteres in der früher beschriebenen Weise (2551) an der Bifilarwaage aufgehängt, jedoch so gedreht, dass seine horizontal liegende Magnekrystallaxe nicht parallel oder senkrecht zum Hebelarm, sondern ein wenig geneigt war, wie in Figur 5, wo 1 den an den Waagebalken *b* befestigten Wismuthkrystall bezeichnet. Die Axe des ersteren steht so, dass der Krystall durch die Lagen 1, 2, 3, 4 schwingen kann. S ist der Magnetpol, der bloss durch die Glasglocke von ihm getrennt ist. Offenbar sind in der Lage 1 die Magnekrystallaxe und die magnetischen Kraftlinien einander parallel, während sie in den Lagen 2, 3, 4 zu einander geneigt sind. War der Apparat so eingestellt, dass der Wismuthkrystall in 1 in Ruhe war, so trieb ihn die in ihrer ganzen Stärke erregte magnetische Kraft nach 4, — eine Folge der diamagnetischen Wirkung. War jedoch die Ruhelage des Wismuths bei 2, so ging es bei Erregung der Magnetkraft nicht, dem vorigen Resultat entsprechend, nach 3, sondern nach 1, welchen Ort es gewöhnlich erreichte und oft überschritt, indem es sich 4 ein wenig näherte. In diesem Falle wirkten die Magnekrystallkraft und die diamagnetische Kraft einander entgegen, und die erstere überwog bis zur Lage 1.

Fig. 5.



2575. Allein wenn auch der Wismuthkrystall in diesen Fällen sich quer zu den magnetischen Kraftlinien bewegte, so lässt sich dasselbe doch nicht in einem Felde erwarten, wo die Linien einander parallel und von gleicher Stärke sind, wie zwischen flachen Polen, wo der Krystall gezwungen ist, sich nur parallel mit sich selbst zu bewegen. Denn unter diesen Umständen sind die Kräfte in beiden Richtungen und zu beiden Seiten der Masse gleich, und das einzige Bestreben, das der Krystall hinsichtlich seiner magnekrystallischen Eigenschaft hat, ist, sich um eine verticale Axe zu drehen, bis er in dem magnetischen Felde seine natürliche Lage eingenommen hat.

2576. Eine sehr wichtige Frage in Bezug auf die Magnekrystallkraft ist nun die, ob sie eine dem Wismuthkrystall u. s. w ursprünglich inne-

---

*) Der Text lautet: This I conclude arose from iron *affected* by the flame and heat of the spirit-lamp. Faraday muss demnach angenommen haben, dass sein Antimon oxydirtes Eisen enthalten habe, das bei der Procedur reducirt worden sei. D. U.

wohnende Kraft, oder ob sie durch magnetische und elektrische Kräfte in ihm erregt ist. Ein Stück weiches Eisen erlangt in der Nähe eines Magnets neue Kräfte und Eigenschaften. Einige nehmen an, dass dieselben die Folge der Induction einer neuen Kraft in dem Eisen und seinen Theilchen von gleicher Natur wie die des inducirenden Magnets sind. Andere meinen, dass diese Kraft ursprünglich in den Eisentheilchen existire, und die Induction nur darin bestehe, dass sämmtliche elementaren Kräfte in einer allen gemeinsamen Richtung angeordnet werden. Diese letztere Annahme können wir nicht in gleicher Weise auf den Wismuthkrystall anwenden, denn hier haben die Theilchen und deren Kräfte von vornherein eben die Anordnung, welche dem Wismuth seine Eigenschaft verleiht. Wenn die Theilchen einer Substanz ungleichmässig angeordnet sind wie die des Eisens im unmagnetischen Zustande, dann mag die magnetische Kraft Magnetismus und Diamagnetismus erregen, der wahrscheinlich ein Inductionszustand ist, aber es ist nicht gleicherweise einleuchtend, dass sie einen Zustand der in Rede stehenden Art hervorrufen könne.

2577. Dass die Theilchen ihre Eigenthümlichkeit innerhalb weiter Grenzen bewahren, erklärt sich, wenn man bedenkt, dass sie eine immanente Eigenschaft oder Kraft besitzen, die Krystallisationskraft, welche so unveränderlich ist, dass sie sich durch keine Behandlung stören lässt; dass es eben diese Kraft ist, welche die Theilchen in der Masse regelmässig anordnet und sie befähigt, gemeinsam auf den Magnet oder den elektrischen Strom zu wirken und eine Einwirkung von ihnen zu erleiden; dass dagegen, wenn die Theilchen nicht so angeordnet sind, sondern alle möglichen Richtungen in der Masse haben, die Summe ihrer Kräfte nach aussen Null ist und keine inducirende Wirkung des Magnets oder Stromes die geringste Spur jener Erscheinungen hervorzurufen vermag.

2578. Dass die Theilchen selbst vor ihrer Krystallisation vermöge ihrer Krystallisationskraft einigermassen in die Ferne wirken können, zeigt, glaube ich, folgende Thatsache. Eine Flasche, die ungefähr ein Quart*) Natriumsulphatlösung von solcher Concentration enthielt, dass sie nach dem Erkalten bei Berührung mit einem Krystall des Salzes oder einem fremden Körper krystallisiren konnte, wurde ganz zufällig eine Woche oder länger ruhig stehen gelassen. Die Lösung blieb flüssig, aber bei Berührung der Flasche erfolgte mit einem Male durch die ganze Masse hindurch eine Krystallisation in hellen, deutlichen, durchsichtigen Tafeln von einem Zoll oder grösserer Länge, einem halben Zoll Breite und nur etwa einem fünfzehntel bis einem sechzehntel Zoll Dicke. Sie waren alle horizontal und einander parallel, und wenn ich mich recht erinnere, hatten alle ihre Längsseite in gleicher Richtung, und sie waren an jeder Stelle der Flasche von gleichem Ansehen und anscheinend in gleicher Menge vorhanden. Beim Umkippen

*) Ungefähr 1,1 Liter. — D. Ü.

der Flasche hielten sie fast die Flüssigkeit auf und erschienen, nachdem diese ausgegossen worden war, als ein schönes und gleichförmiges Haufwerk von Krystallen. Ich gewann damals hieraus die Ueberzeugung, dass zwar ein in Lösung befindliches und krystallisirendes Theilchen unmittelbar und hauptsächlich auf seine Nachbarn wirken muss, dass aber sein Einfluss sich darüber hinaus erstrecken kann, da sonst die ganze Masse der Lösung schwerlich in einen Krystallisationszustand von solcher Gleichförmigkeit versetzt werden könnte. Ob die Horizontalität der Tafeln irgend eine Beziehung haben könne zu den nahezu verticalen Kraftlinien des Erdmagnetismus, welche die Lösung während ihrer ganzen Ruhezeit durchschnitten, ist mehr als ich zu sagen wage.

2579. Folgendes sind Betrachtungen, welche diese grosse Frage (2576), ob der Zustand ein immanenter oder ein inducirter ist, treffen.

2580. Zunächst nimmt das Wismuth aus dem magnetischen Felde keine Kraft und keine Eigenthümlichkeit mit, die es befähigte, auf einen Magnet zu wirken (2504); wenn demnach der Zustand des Krystalls ein inducirter ist, so ist er wahrscheinlich ein vorübergehender und besteht nur so lange, als er der Induction ausgesetzt bleibt. Die Thatsache, obwohl nur von negativer Beweiskraft, stimmt also, soweit diese reicht, mit jener Annahme überein.

2581. Wenn ferner die Wirkung, soweit sie den Krystall betrifft, ganz und gar von einer ursprünglichen, der Masse immanenten Kraft herrührte, so liesse sich erwarten, dass der Erdmagnetismus oder ein anderer schwacher Magnet auf den Krystall einwirken würde. Allerdings muss eine schwache magnetische Kraft ebenso gut wie eine stärkere einen gegebenen Zustand in einem Wismuthkrystall *induciren*, jedoch nur im Verhältniss zu ihrer Stärke. Allein wenn der gegebene Zustand dem Krystall immanent wäre und sein Betrag sich nicht mit der Stärke der magnetischen Kraft, der derselbe ausgesetzt ist, änderte, dann müsste eine schwache magnetische Kraft entschiedener auf das Wismuth wirken, als wenn der Zustand im Wismuth bloss im Verhältniss zu dieser Kraft inducirt wäre. Welchen Werth auch dieses Argument haben mag, so nahm ich doch Anlass, den Versuch über den Einfluss der Erde (2505) sehr sorgfältig zu wiederholen. Ich hängte die Krystalle in kleine Flaschen, schützte sie, indem ich grössere Flaschen darüber stülpte und stellte den Versuch in einem unterirdischen Raume von gleichmässiger und constanter Temperatur an, so dass jeder Einfluss von Luftströmungen ausgeschlossen war und die Krystalle der schwächsten Torsion, die dem Aufhängungsfaden oben durch den Zeiger ertheilt wurde, gehorchten. Unter diesen Umständen erhielt ich keine Anzeige einer Richtkraft der Erde, weder bei Wismuth- noch bei Eisenvitriolkrystallen. Möglich, dass eine solche am Aequator, wo die Kraftlinien horizontal sind, sich zu erkennen geben würden.

2582. Drittens sollte man erwarten, dass, wenn den Krystallen und

ihren Molecülen ursprünglich eine Kraft innewohnte, sie unabhängig von der Magnetkraft einen directen Einfluss auf einander ausüben würden, und dies wäre der möglich beste Beweis, dass die Kraft, welche sich im magnetischen Felde offenbart, ihnen immanent sei. Als ich jedoch einen grossen Krystall mit seiner Magnekrystallaxe horizontal unter oder neben einen kleineren aufgehängten legte, vermochte ich kein Anzeichen einer Wechselwirkung wahrzunehmen, selbst dann nicht, wenn die genäherten Theile der Krystalle abgeschliffen oder fortgeätzt waren, um grosse Flächen der beiden Massen einander möglichst nahe zu bringen. Derartige Versuche erfordern äusserste Sorgfalt (2581), da sonst mancherlei Vorgänge eintreten, welche eine Wechselwirkung der Körper anzuzeigen scheinen.

2583. Ebenso wenig konnte ich zwischen Wismuth- oder Eisenvitriolkrystallen im *magnetischen Felde*, wobei der eine Krystall frei schwebte, der andere ihm in verschiedenen Lagen nahe gebracht war, eine Spur einer Wechselwirkung wahrnehmen.

2584. Aus dem Fehlen oder der äussersten Kleinheit einer Wechselwirkung zwischen den Krystallen, sowie auch aus der Wirkung der Wärme, die den Krystall, noch bevor er seinen eigentlichen krystallischen Zustand verloren hat, seiner Eigenschaft beraubt (2570), komme ich zu dem Schluss, dass die Kraft, welche sich an dem im magnetischen Felde befindlichen Krystall durch äussere Wirkungen und Bewegung seiner Masse offenbart, hauptsächlich und fast gänzlich *inducirt* ist, dass sie freilich abhängig ist von der Krystallisationskraft und sich schliesslich ihr zugesellt, zugleich aber diese Kraft und deren Wirkungen bis zu einem Grade steigernd, den sie ohne Induction nicht erreicht haben würden.

2585. In diesem Falle muss diese Kraft wohl eine magnetokrystallische genannt werden, da sie unter dem Einfluss des Magnets entsteht oder erregt wird. Das Wort magnekrystallisch gebrauche ich eigentlich, um das anzudeuten, was ich als dem Krystall selbst angehörig betrachte, und in diesem Sinne spreche ich auch von der Magnekrystallaxe u. s. w.

2586. Diese Kraft scheint mir von sehr seltsamer und auffallender Art zu sein. Sie ist nicht polar, denn sie äussert weder Anziehung noch Abstossung. Welcher Natur ist denn aber die mechanische Kraft, welche den Krystall dreht (2460) oder ihn befähigt, auf einen Magnet zu wirken (2564)? Er ist nicht einer Drahtrolle gleich, die sich unter dem Einfluss von magnetischen Kraftlinien dreht, denn hierzu ist ein elektrischer Strom erforderlich, und die Rolle besitzt während dieser Zeit Polarität und wird kräftig angezogen und abgestossen.[1])

2587. Nehmen wir einen Augenblick an, dass die axiale Lage diejenige ist, in welcher der Krystall nicht afficirt wird, und dass in der

---

[1]) Vielleicht finden diese Punkte einstmals ihre Erklärung in der Wirkung aneinanderstossender Theilchen (1663, 1710, 1729, 1735, 2443).

schiefen Lage die magnekrystallisch axiale Richtung eine Einwirkung erleidet und polar wird, indem zwei Spannungen auftreten, die den Krystall herumdrehen, dann müssten gleichzeitig Anziehungen stattfinden, und ein schief gehaltener Krystall müsste von einem Einzelpole oder von dem nächsten der beiden Pole angezogen werden; allein eine derartige Wirkung ist nicht wahrzunehmen.

2588. Oder wir könnten annehmen, dass der Krystall in Richtung der Magnekrystallaxe etwas empfänglicher für magnetische Induction oder etwas weniger empfänglich für diamagnetische Induction sei als in anderen Richtungen. Allein, wenn dies der Fall wäre, so müsste er, wenn er ein magnetischer Körper ist, wie Eisenvitriol (2557, 2583), sicherlich polare Anziehungen äussern, und wenn er ein diamagnetischer Körper ist, wie Wismuth, eine verschieden grosse Abstossung, je nachdem die Magnekrystallaxe parallel oder senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien läge (2552), was aber nicht der Fall ist.

2589. Ich kenne bisher kein Beispiel einer Kraft wie das in Rede stehende, dass ein Körper ohne Anziehung und Abstossung bloss in eine Richtung gebracht wird.

2590. Wenn die Kraft inducirt ist, so muss sie im Allgemeinen den sie vorzugsweise inducirenden Kräften gleichen, und dies sind im vorliegenden Falle die magnetischen und elektrischen Kräfte. Ist sie inducirt, so muss sie, der Krystallisationskraft unterworfen (2577), eine innige Beziehung zwischen dieser und jenen zeigen. Wie sehr dürfen wir demnach hoffen, dass die Ergebnisse uns den Weg öffnen werden zu einer vollen Erkenntniss dieser Kräfte (2146), der Art, wie sie in den substantiellen Theilchen combinirt sind, und ihrer Wirkung, welche in diesen wundervollen Erscheinungen zu Tage tritt!

2591. Ich kann nicht unterlassen, noch eine andere Ansicht über diese Erscheinungen, die vielleicht die richtige ist, vorzubringen. Man darf die magnetischen Kraftlinien wohl in gewissem Grade mit den Lichtstrahlen, Wärmestrahlen u. s. w. vergleichen, und es wäre möglich, dass sie beim Durchgang durch die Körper auf Widerstand stossen und demnach von diesen wie das Licht afficirt werden. Es könnte beispielsweise sein, dass sie durch einen krystallisirten Körper in Richtung der Magnekrystallaxe freier oder ungestörter hindurchgehen als in anderen Richtungen. In diesem Falle wäre die Lage des Krystalls im magnetischen Felde, bei welcher seine Magnekrystallaxe den magnetischen Kraftlinien parallel ist, eine Lage ohne Widerstand oder kleinsten Widerstandes und daher die Lage der Ruhe und stabilen Gleichgewichts. Alle die diametralen Erscheinungen würden mit dieser Ansicht übereinstimmen. Die Magnekrystallaxe war für die magnetischen Kraftlinien genau dasselbe, was die optische Axe für einen polarisirten Lichtstrahl ist, nämlich die Richtung, in welcher dieser nicht afficirt wird. Wenn dies der Fall wäre, so dürften wir auch hoffen, an

krystallisirten Körpern Erscheinungen zu entdecken, welche auf Verzögerungen und Richtungseinflüssen beruhten und den schönen Lichterscheinungen in solchen Körpern entsprächen. Bei diesen hypothetischen Betrachtungen lasse ich Trägheit und Moment nicht ausser Acht, aber die Vorstellung, die ich mir von der Trägheit mache, schliesst die obige Ansicht nicht als irrationell aus. Ich erinnere auch daran, dass, wenn man einen Magnetpol und einen von einem elektrischen Strome durchflossenen Draht so miteinander befestigt, dass der eine sich nicht ohne den anderen drehen kann, und den einen zur Axe macht, der andere um diesen kreist und ihn mit sich führt; ebenso, dass ein Magnet, wenn man ihn in Quecksilber schweben lässt und einen elektrischen Strom durch ihn hinableitet, umherkreist vermöge der Kräfte, die *innerhalb* seiner Masse existiren. Bei meinen unvollkommenen mathematischen Kenntnissen scheinen mir diese Bewegungen ebenso viel Schwierigkeit zu bieten als die von mir vorausgesetzte, und daher wage ich die Idee auszusprechen.[1]) Die Hoffnung, ein polarisirtes Bündel magnetischer Kräfte zu erhalten, ist an sich genügend, um sich ernstlich mit diesem Gegenstande, wenn auch nur in Gedanken zu beschäftigen, und ich darf wohl sagen, dass, wer mit Fleiss, Unvoreingenommenheit und mit Bedacht derartige wissenschaftliche experimentelle Untersuchungen unternimmt, nicht vergeblich arbeiten wird.

2592. Ich habe bereits in der vorigen Abhandlung (2469) auf Plücker's schöne Entdeckung und Erscheinungen der Abstossung der optischen Axe[2]) gewisser Krystalle durch den Magnet hingewiesen, und sie von meinen eigenen unterschieden, die ich beim Wismuth, Antimon und Arsen erhalten habe, und die nicht Fälle von Abstossung oder Anziehung darstellen. Ich glaube nun mit Plücker, dass die dort auftretende Kraft der optischen Axe angehört und in äquatorialer Richtung ausgeübt wird, ihre Richtung also rechtwinkelig ist zu der, welche die magnekrystallischen Erscheinungen hervorbringt.

2593. Aber die Beziehungen *beider* zur Krystallstructur und folglich zu der Kraft, welche diese bedingt, sind ganz offenbar. Auch aus anderen, die Lage, Einstellung und Drehung betreffenden Erwägungen erkennt man, dass die Beziehung der beiden Kräfte zu einander, so zu sagen, sehr verschieden ist von der, welche zwischen ihnen und der magnetischen oder diamagnetischen Kraft existirt. Da demnach einerseits die strenge Gleichheit und andererseits die deutliche Verschiedenheit beider Erscheinungsreihen klar liegt, will ich versuchen, sie zu vergleichen, um zu prüfen, ob die Kräfte, die sich in ihnen äussern, nicht identisch seien.

2594. Ich hatte die günstige Gelegenheit, die Resultate Plücker's beim

---

[1]) Siehe 2639, Note.

[2]) Ueber die Abstossung der optischen Axen der Krystalle durch die Pole der Magnete, Poggendorff's Annalen, vol. LXXII, Oct. 1847, p. 315, oder Taylor's Scientific Memoirs, vol. V, p. 353.

Turmalin, Staurolith, rothen Blutlaugensalz und isländischen Kalkspath unter seiner persönlichen Leitung bestätigt zu sehen. Seitdem habe ich besonders mit Rücksicht auf die vorliegende Arbeit sorgfältige Versuche mit Kalkspath angestellt, da dieser Körper keiner magnetischen Wirkung unterliegt und zugleich in krystallischer Hinsicht so einfach ist, dass er nur eine optische Axe besitzt.

2595. Hängt man ein kleines Rhomboëder, dessen grösste Abmessung ungefähr 0,3 Zoll beträgt, mit seiner optischen Axe horizontal zwischen den zugespitzten (2458) und einander möglichst genäherten Polen des Elektromagnets auf, so dass die freie Bewegung des Rhomboëders nicht gehindert ist, so stellt dieses sich in äquatorialer Richtung ein, und die optische Axe fällt mit der magnetischen Axe zusammen. Rückt man aber die Pole einen halben oder dreiviertel Zoll aus einander, so dreht sich das Rhomboëder um 90^0 und stellt sich mit der optischen Axe äquatorial und mit seiner grössten Abmessung axial. In dem ersten Falle hatte die diamagnetische Kraft das Uebergewicht über die Kraft der optischen Axe, im letzteren war die Kraft der optischen Axe die stärkere.

2596. Um die diamagnetische Wirkung auszuschliessen, wandte ich flache Pole an (2463), und nun stellte sich das kleine Rhomboëder stets in der Lage ein, in welcher seine optische Axe äquatorial war, oder führte Schwingungen um dieselbe aus.

2597. Ich nahm ferner drei Würfel von Kalkspath (1695), von respective 0,3, 0,5 und 0,8 Zoll Seite, deren optische Axen zu zwei der Seiten senkrecht waren, und brachte sie der Reihe nach in das magnetische Feld zwischen flache oder zugespitzte Pole. In allen Fällen ging die optische Axe, wenn sie horizontal war, in die äquatoriale Lage; war sie vertical, so zeigten die Würfel keine Richtkraft. Es war nach der Methode zweier Lagen (2470) leicht, die Kraftlinie aufzufinden, bei deren verticaler Richtung die Masse von dem Magnet nicht beeinflusst wurde, oder bei deren horizontaler Richtung sie in die äquatoriale Lage ging. Untersuchte man nun den Würfel in polarisirtem Lichte, so fand sich, dass jene Linie mit der optischen Axe zusammenfiel.

2598. Selbst der Hufeisenmagnet (2485) ist stark genug, um diese Wirkungen hervorzubringen.

2599. An zwei ähnlichen Würfeln von Bergkrystall (1692) konnte ich keine Spur einer Erscheinung wahrnehmen, die eine magneoptische oder magnekrystallische oder sonst eine Beziehung zur Krystallstructur der Substanzen gehabt hätte.

2600. Obschon es als ganz gewiss ist, dass es in einem Kalkspathkrystall eine mit der optischen Axe zusammenfallende Kraftlinie giebt, welche als die Resultirende der Kräfte angesehen werden kann, die den Krystall im magnetischen Felde in eine bestimmte Lage bringen, und ob-

schon es ebenso gewiss ist, dass diese Linie die äquatoriale Lage einnimmt, so scheint sie mir doch als Kraftlinie, d. h. als eine Linie, welche die Richtung der den Krystall in diese Lage bringenden Kraft darstellt, etwas Anomales an sich zu haben. Denn dass die Wirkung einer richtenden und bestimmenden Kraft*linie* darin erschöpft sein sollte, dass sie in eine *Ebene* (die äquatoriale) geht, in welcher sie ebenso gut die eine wie irgend eine andere unter unendlich vielen Lagen einnehmen könnte, erweckt in mir die Vorstellung des Unvollständigen und giebt dem Gedanken Raum, dass noch ein anderer Effect oder sonst eine Erscheinung zu erforschen und zu erklären übrig bleibt.

2601. Eine weitere Ueberlegung lässt erkennen, dass eine einfache Combination des magnekrystallischen Zustandes, wie er im Wismuth vorhanden ist, uns eine vollkommene Vorstellung von dem Zustande des Kalkspaths geben kann; denn wenn wir zwei gleiche Wismuthstücke mit ihren Magnekrystallaxen senkrecht zu einander stellen (2484), so haben wir ein System von Kräften, deren Resultirende durch eine in die äquatoriale Richtung fallende Linie dargestellt zu sein scheint. Wenn diese Linie vertical ist, so ist das System hinsichtlich der Lage indifferent, ist sie aber horizontal, so stellt sich das System so ein, dass die Linie in die äquatoriale Ebene fällt. Dennoch hat die wahre Kraft nicht die äquatoriale, sondern die axiale Richtung, und das System wird eher durch das, was man als eine *Ebene axialer Kraft* (hervorgehend aus der Vereinigung der beiden zu einander rechtwinkeligen Axen) betrachten kann, als durch eine *äquatoriale Kraftlinie* in Bewegung gesetzt.

2602. Ohne Zweifel ist das Rhomboëder oder der Würfel (2597) von Kalkspath kein so zusammengesetzter Krystall wie das eben erwähnte System von Wismuthkrystallen (2601), allein die Kräfte der Molecüle könnten eine zusammengesetzte Anordnung und zwei oder mehr Kraftaxen haben, welche ebensowohl die Krystallstructur bedingen als auch in Bezug auf den Magnet eine solche Kraft äussern könnten, um in derselben Weise Erscheinungen derselben Art hervorzubringen, wie der Doppelkrystall von Wismuth (2601). In der That scheint es mir auch mit der Spaltbarkeit des Kalkspaths und Wismuths in drei oder mehreren Richtungen nicht vereinbar zu sein, dass diese Substanzen nur Eine krystallische Kraftaxe haben sollten.

2603. Die optische Axe eines Kalkspathstückes ist einfach die Richtung, in welcher ein es durchsetzender polarisirter oder gewöhnlicher Lichtstrahl die geringste Einwirkung erleidet. Sie mag als Resultirende der Molecularkräfte eine Linie kleinster Intensität sein, und sicherlich ist ein Stück Kalkspath für die gewöhnlichen mechanischen Mittel zur Prüfung der Cohäsion an den Flächen und Stellen, welche der optischen Axe parallel sind, viel härter als an den zu dieser senkrechten. Mit einer gewöhnlichen Feile oder einem Stück Sandstein lässt sich dies nachweisen. Demnach könnte

die zur optischen Axe äquatoriale Ebene, wie sie Richtungen vorstellt, in denen die die Krystallisation bewirkende Kraft grösser ist als in Richtung der optischen Axe, auch diejenige sein, in welcher die Resultirende der Magnekrystallkraft ausgeübt wird.

2604. Als mit diesen Betrachtungen einigermassen im Widerspruch stehend, muss ich bemerken, dass die Spaltbarkeit des Wismuths, Antimons und Arsens senkrecht zur Magnekrystallaxe sehr gut ist (2475, 2510, 2532). Allein wir müssen bedenken, dass die Spaltbarkeit (und folglich die Cohäsion) nicht das Einzige ist, was hierbei in Betracht kommt, denn beim Kalkspath fällt sie weder mit der axialen noch mit der äquatorialen Richtung im magnetischen Felde zusammen; zum vollen Verständniss und zur Auffindung der wahren Beziehung aller dieser Punkte müssen wir versuchen, auch den polaren (oder axialen) Zustand der Theilchen der Massen in Betracht zu ziehen.

2605. Nimmt man an, dass der Kalkspath ein einfaches System von Kräften darstellt, so muss ich ferner zugeben, dass, wenn man zwei Krystalle mit ihren optischen Axen rechtwinkelig zu einander zusammenstellt, man eine zusammengesetzte Masse erhalten würde, welche in Richtung der Kraft das Wismuth treu darstellt, d. h. welches im magnetischen Feld anscheinend nur mit einer Kraftlinie und zwar in axialer Richtung pointiren wird, während es in Wahrheit von einem System von in der Aequatorialebene liegenden Kräften in Bewegung gesetzt wird. Ich will jedoch nicht behaupten, dass sich die Sache nicht so verhält; in jedem Falle glaube ich, dass die Metalle Wismuth, Antimon und Arsen uns die einfachsten wie die hervorragendsten Beispiele der Magnekrystallkraft liefern, und wie es auch damit sei, so bin ich doch der Meinung, dass die von Plücker entdeckten und die von mir in diesen beiden Abhandlungen besprochenen Erscheinungen einen gemeinsamen Ursprung und Grund haben.

2606. Ich ging alle Versuche und Betrachtungen über Plücker's Krystalle (Kalkspath, Turmalin und rothes Blutlaugensalz) mit Rücksicht auf die Frage, ob die Kraft eine ursprüngliche oder inducirte sei (2576), von Neuem durch und kam zu demselben Schluss wie früher (2584).

2607. Ich konnte nicht finden, dass Krystalle von rothem Blutlaugensalz oder Turmalin durch den Erdmagnetismus afficirt werden (2581) oder auf einander zu wirken vermögen (2582). Ebenso wenig konnte ich finden, dass die von Plücker beim Kalkspath oder rothem Blutlaugensalz beobachtete Erscheinung eine Anziehungs- oder Abstossungswirkung sei; dieselbe ist vielmehr nur eine richtende (2550, 2560). Alle diese Umstände führen mich zu der Ueberzeugung, dass die bei seinen Versuchen und meinen Erscheinungen am Wismuth u. s. w. wirksame Kraft eine und dieselbe ist.[1])

---

[1]) Die optische Axe ist die Richtung schwächster optischer Kraft und fällt in Plücker's Versuchen mit der zusammen, die ich in meinen Resultaten als die

2608. Ein kleines Kalkspathrhomboëder, das im magnetischen Felde auf eine so hohe Temperatur gebracht wurde, als sich mit einer Spirituslampe erreichen liess (2570), wenigstens bis zur vollen Rothgluth des Kupfers, richtete sich ebenso gut wie vorher. Dasselbe that ein ebenso stark erhitztes dickes Stück Turmalin. Beim Erkalten wurde dieses jedoch stark magnetisch und schien für Versuche bei niedrigen Temperaturen ganz unbrauchbar geworden zu sein; als es aber einige Secunden lang in Königswasser digerirt worden war, wodurch etwas Eisen von der Oberfläche gelöst wurde, stellte es sich wieder so gut wie vorher, gemäss dem Plücker'schen Gesetze, ein. Durch die Flamme und Wärme war an der Oberfläche ein wenig Oxyd zu Oxydul reducirt worden, woraus sich das magnetische Verhalten erklärt.

2609. Zwischen Plücker's magneto-optischen Resultaten und denen, welche ich früher beim schweren Glase und anderen Körpern erhalten habe (2152 etc.), besteht eine allgemeine und, wie mir scheint, wichtige Beziehung. Wenn diese Körper dem Einflusse starker magnetischer oder elektrischer Kräfte ausgesetzt werden, so nehmen sie einen eigenthümlichen Zustand an, indem sie auf einen polarisirten Lichtstrahl einzuwirken vermögen. Die Wirkung besteht in einer Drehung des Strahls, wenn er die Substanz parallel zu den magnetischen Kraftlinien, oder mit anderen Worten in axialer Richtung durchläuft, während beim Durchgang desselben in äquatorialer Richtung keine Einwirkung stattfindet. Die Aequatorialebene ist also diejenige, in welcher der Zustand der Molecularkräfte, was ihren Einfluss auf das Licht betrifft, am wenigsten gestört wird. So ist es auch in Plücker's Erscheinungen; die optische Axe oder, wenn es deren zwei giebt, die optischen Axen stellen sich unter demselben magnetischen Einfluss in jene Ebene und sind auch die Richtungen, in denen die Wirkung auf polarisirtes Licht ein Minimum oder Null ist.

2610. Wenn schweres Glas oder Wasser von vornherein in diesen Zwangszustand versetzt werden könnte und dann in das magnetische Feld gebracht würde, so halte ich es für zweifellos, dass sie sich, wenn ihnen freie Bewegung gestattet wäre, von selbst so stellen würden, dass die Ebene, in der keine Wirkung auf das Licht erfolgt, äquatorial wäre, ganz so wie es in Plücker's Versuchen mit einem Kalkspathkrystall oder einem Turmalin der Fall ist. Und wie es hier für das allgemeine Resultat keinen Unterschied

---

Richtung ansehe, wo die Magnekrystallkraft ein Minimum hat. Es ist mehr als wahrscheinlich, dass überall, wo sich die beiden Reihen von Erscheinungen (mögen sie nun wirklich oder bloss nominell verschieden sein) an demselben Körper beobachten lassen, sich zeigen wird, dass die Richtungen der Maximum-Effecte ebenso wie die Richtungen der Minimum-Effecte zusammenfallen. — 23. November 1848.

macht, ob der Körper magnetisch oder diamagnetisch ist, so ist auch in meinen Versuchen bei beiden Klassen von Substanzen der optische Effect von gleicher Richtung und den gleichen Gesetzen unterworfen (2185, 2187).

2611. Allein trotz dieser allgemeinen Gleichheit in der Hauptsache besteht doch in der Vertheilung der Kräfte ein gewaltiger Unterschied zwischen dem schweren Glase und dem Krystall, und ein noch grösserer darin, dass das schwere Glas seinen Zustand nur vorübergehend, während es der Induction ausgesetzt ist, und gezwungen annimmt, während der Krystall denselben ungezwungen, von Natur und dauernd besitzt. In beiden Fällen gehört jedoch der Zustand, gleichviel ob er ein natürlicher oder inducirter ist, den Theilchen an, und wenn man die Wirkung des im Zwangszustande befindlichen Glases auf das Licht mit der des Krystalls in seiner Freiheit vergleicht, so sieht man, dass der Magnet die Fähigkeit hat, den materiellen Theilchen, und selbst denen der Flüssigkeiten (2184), etwas mitzutheilen, was der zur Krystallisation erforderlichen Eigenschaft ähnlich ist.

2612. Wenn diese Betrachtungen irgend einen Werth haben, und wenn die im Wismuth- und Kalkspathkrystall sich offenbarenden Kräfte dieselben sind (2607), so hat man ferner Grund zu der Annahme, dass im Wismuth und in den anderen oben genannten Metallen, wenn sie dem Einfluss des Magnets ausgesetzt sind, sowohl eine inducirte (2584) als auch eine präexistirende Kraft (2577) vorhanden ist. Letztere mag als Krystallisationskraft unterschieden werden; sie zeigt sich zunächst bei solchen Körpern, welche, ohne der Induction ausgesetzt zu sein, optische Axen und Kraftlinien aufweisen; ferner in der symmetrischen Anordnung der ganzen Masse, wenn sie in üblicher Weise behandelt wird, und in der festen Lage der Linie der Magnekrystallkraft in Körpern, welche diese erfahrungsgemäss besitzen.

2613. Obwohl ich von der Magnekrystallaxe als von einer gegebenen Linie oder Richtung gesprochen habe, so möchte ich doch nicht dahin verstanden werden, als setzte ich voraus, dass die Kraft rings um dieselbe mit der Entfernung von ihr in gleichem Verhältniss abnehme oder der Zustand sich ebenso ändere. Es ist wahrscheinlicher, dass die Aenderung verschieden ist in verschiedenen Richtungen, je nach den Kräften, welche die Gestaltverschiedenheiten der Krystalle bedingen. Eine genaue Kenntniss der Kraftvertheilung wird sich erreichen lassen, wenn man gute Krystalle anwendet, einen unveränderlichen gewöhnlichen Magnet (2485, 2528) oder einen regulirten Elektromagnet, flache Pole (2463) und Torsion (2500, 2530).

2614. Ich kann diese Reihe von Untersuchungen nicht schliessen, ohne die Bemerkung zu machen, wie rasch unsere Kenntniss der Molecularkräfte wächst, wie schlagend jeder neue Fund deren Wichtigkeit mehr und mehr enthüllt und das Studium derselben so äusserst anziehend

macht. Vor wenigen Jahren noch war uns der Magnetismus eine verborgene Kraft, deren Wirkung sich nur auf wenige Körper zu erstrecken schien; nun haben wir erkannt, dass er auf alle Körper wirkt und zur Elektricität, zur Wärme, zum Chemismus, zum Licht, zur Krystallisation und durch sie zu den Cohäsionskräften in innigster Beziehung steht; unter solchen Umständen dürfen wir uns wohl angetrieben fühlen, unsere Arbeit fortzusetzen, in der ermuthigenden Hoffnung, ihn selbst mit der Gravitation unter ein einigendes Band zu bringen.

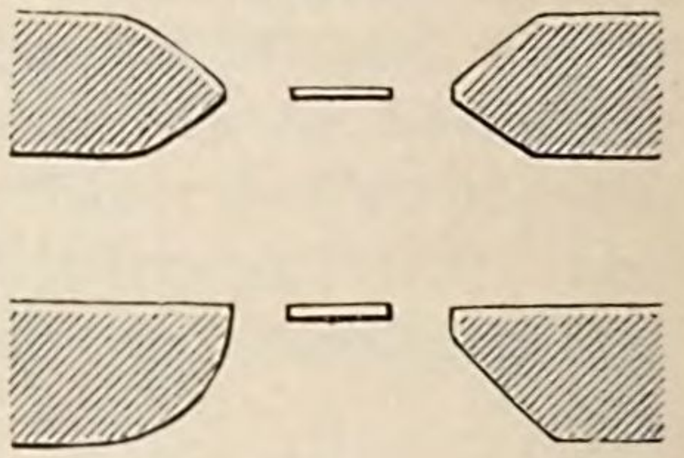
Royal Institution,
20. October 1848.

VI. **Zusatz.** — *Ueber die Einstellung eines Eisenvitriolkrystalls im magnetischen Felde.*

Eingegangen und gelesen am 7. December 1848.

2615. Obschon Wirkungen der folgenden Art allgemein sind, so glaube ich doch angeben zu sollen, dass ich sie hauptsächlich bei Anwendung von Magnetpolen (2247) erhielt, deren Grundriss und Seitenansicht in der nebenstehenden Figur 6 dargestellt ist. Die ihrer Wirkung ausgesetzten Krystalle waren an Coconfäden aufgehängt, so dass sie sich im Niveau der oberen Fläche der Pole befanden.

Fig. 6.



2616. Es wurde ein prismatischer Krystall von Eisenvitriol ausgewählt von nahezu 0,9 Zoll Länge, 0,1 Zoll Breite und 0,05 Zoll Dicke. Der Versuch ergab, dass seine Magnekrystallaxe mit der Dickenrichtung zusammenfiel, also senkrecht oder nahezu senkrecht (2546) zur Figurentafel war. Wurde er, wie oben beschrieben, aufgehängt und der Magnet (2247) durch zehn Grove'sche Elemente erregt, so stellte sich der Krystall quer oder mit seiner *Magnekrystallaxe* parallel zur Axe der magnetischen Kraft, wenn der Abstand der Pole 2,25 Zoll oder darüber betrug; standen diese aber etwa 2 Zoll oder weniger ab, so stellte er sich mit seiner Länge axial oder nahezu so, seine Magnekrystallaxe also quer zu den magnetischen Kraftlinien. Bei Abständen zwischen 2 und 2,25 Zoll nahm der Krystall eine schiefe (2634), gegen die axiale Linie mehr oder weniger geneigte Lage ein und ging so allmählich von einer Lage in die andere. Diesen intermediären Abstand will ich hier den *n*-(neutralen) Abstand nennen.

2617. Wird der Krystall bei 2 Zoll Abstand langsam herabgelassen, so geht er durch dieselben intermediären schiefen Lagen in die Querlage über, und dieselben Uebergänge erfolgen, wenn er gehoben wird; bei kleinerem Abstande tritt derselbe Lagenwechsel ein, nur später. Derselbe erfolgt beim Heben des Krystalls rascher als beim Senken; allein dies hat seinen Grund nur in der durch die Hufeisenform des Magnets und die Gestalt der Pole bedingten unsymmetrischen Vertheilung und Intensität der magnetischen Kraftlinien rings um die Axe. Bei Anwendung zweier cylindrischer Magnete mit konischen Enden würden ohne Zweifel für gleich grosse Hebungen oder Senkungen entsprechende Aenderungen in der Lage des Krystalls erfolgen.

2618. Diese Aenderungen rühren jedoch nicht von der blossen Abnahme der magnetischen Kraft mit der Entfernung her, sondern von Ver-

schiedenheiten in den *Formen* oder der *Richtung* der Resultirenden. Dies ergiebt sich daraus, dass, wenn man den Krystall in der ersten Lage, wo er mit seiner Länge sich axial stellt, lässt, keine Verminderung der Magnetkraft seine Lage ändert; so bleibt der n-Abstand (2616) ungeändert, ob man den Magnet durch ein oder durch zehn Plattenpaare erregt, ja sogar bei Anwendung eines gewöhnlichen Hufeisenmagnets fand ich es ebenso.

2619. Einen wichtigen Einfluss auf das Resultat hat die Länge des prismatischen Krystalls. Je kürzer der Krystall, desto kleiner ist der Abstand n, während alle übrigen Erscheinungen dieselben bleiben. Für einen 0,7 Zoll langen Krystall, der jedoch dicker war als der letzte, betrug der Maximalabstand n 1,7 Zoll; für einen noch kürzeren Krystall war derselbe 1,1 Zoll. In allen diesen Fällen brachte eine Aenderung der Magnetkraft keinen merklichen Unterschied hervor.

2620. Eine Veränderung in der mit der Magnekrystallaxe zusammenfallenden Abmessung des Krystalls beeinflusst den Abstand n; so verringerte eine Zunahme der Länge der Magnekrystallaxe den Abstand, während eine Verkleinerung derselben ihn vergrösserte. Dies zeigte sich auf zweierlei Weise; erstlich, indem man neben dem vorigen einen zweiten prismatischen Krystall in symmetrischer Lage (2636) anbrachte, wodurch der Abstand sich auf 1,75 bis 2 Zoll verkleinerte, und dann, indem man nach einander zwei Krystalle von gleicher Länge, aber verschiedener Dicke anwandte. Bei dem dickeren war der n-Abstand der kleinere.

2621. Eine Aenderung in der Breite des Krystalls, d. h. in der Verticalabmessung, hatte keinen merklichen Einfluss auf den n-Abstand, kann es auch theoretisch nicht, so lange nicht die Ausdehnung auf- und abwärts einer Hebung oder Senkung der oberen oder unteren Theile gleichkommt (2617).

2622. Der n-Abstand ist abhängig von der Form der Pole; je spitzer sie sind, desto grösser wird der Abstand und er nimmt ab, wenn sie stumpfer werden bis zur Flachheit (2463).

2623. Bei kurzen Krystallen oder stumpfen Polen muss man oft die Stärke des Magnetismus verringern, weil sonst der Krystall leicht zu dem einen oder anderen Pole hingezogen wird. Dies lässt sich jedoch vermeiden, wenn man eine unten und oben befestigte verticale Axe anwendet (2554); dann zeigt es sich, dass die *Stärke* des Magnets ganz oder nahezu ohne Einfluss ist auf die Resultate.

2624. Diese Erscheinungen sind wahrscheinlich eine Folge des wesentlichen Unterschiedes, der zwischen den gewöhnlichen magnetischen und den magnekrystallischen Erscheinungen insofern besteht, als die ersteren *polarer*, die anderen bloss *axialer* Natur sind (2472). Eine magnetische Substanz, wie beispielsweise Eisen, wird im magnetischen Felde augenblicklich polar (d. h. an

den Enden ungleichartig). Sind viele Eisentheilchen vorhanden, so werden sie alle polar, und wenn sie frei beweglich sind, so ordnen sie sich in axialer Richtung so an, dass ihre entgegengesetzten Pole aneinanderstossen, wodurch die Polarität der Endtheilchen sich verstärkt. Dies scheint nun durchaus nicht der Fall zu sein bei Theilchen, die dem Einfluss der Magnekrystallkraft unterliegen; die Kraft scheint gänzlich *axial* zu sein, und daher rührt wahrscheinlich der Unterschied in den obigen und vielen anderen Resultaten.

2625. Hängt man beispielsweise vier oder mehrere Eisenwürfel in einem magnetischen Felde von gleichförmiger Stärke (2465) auf, so werden sie polar; auch vier ähnliche Würfel von krystallisirtem Wismuth erleiden unter denselben Umständen eine Einwirkung und richten sich. Reiht man die Eisenwürfel in äquatorialer Richtung an einander, so bilden sie ein System, das sich in labilem Gleichgewicht befindet, sich sofort dreht und sich mit seiner Länge axial stellt; die Wismuthwürfel dagegen erleiden durch eine solche Anordnung keine merkliche Aenderung.

2626. Die *äussersten* (und die übrigen) zu einem System vereinigten Eisenwürfel haben nun in der Längsrichtung eine stärkere Polarität als vorher und die ganze Gruppe bildet, so zu sagen, einen Leiter für die magnetischen Kraftlinien; denn viele von diesen werden auf das Eisen concentrirt, und die Intensität der Kraft ist zwischen den Enden des Eisensystems und den Magnetpolen weit grösser als an anderen Stellen des magnetischen Feldes. Dies ist bei den Wismuthwürfeln nicht der Fall; denn wie sie auch angeordnet sein mögen, die Kraftintensität des magnetischen Feldes wird, so weit die Erfahrung reicht, von ihnen nicht beeinflusst, und die Intensität der Krystallmolecüle scheint dieselbe zu bleiben. Daher stellt sich das Eisensystem mit seiner Längsrichtung zwischen den Polen ein, bei den Wismuthkrystallen dagegen ist es ganz gleichgiltig, ob sie neben einander angeordnet werden, so dass sie in Bezug auf die Magnekrystallaxe mit ihrer Länge äquatorial stehen, oder hinter einander, so dass sie axial stehen, ihre Schwingung und Einstellung ist in beiden Fällen dieselbe.

2627. Ein Stück Eisen in ein magnetisches Feld von gleichförmiger Stärke gebracht und einem der Pole genähert, haftet an diesem und stört die Intensität des Feldes, indem es an einer Stelle einen spitzen Pol mit divergirenden Kraftlinien schafft; ein Wismuthkrystall schwingt in jedem Theile des Feldes mit merklich gleicher Kraft (2467) und stört die Vertheilung der Kraft nicht.

2628. In Erwägung aller dieser Vorgänge und Umstände scheint mir das Vorkommen des n-Abstandes bei einem Körper, welcher magnetiseh und magnekrystallisch zugleich ist, auf die Ursachen dieser Zustände und ihrer Verschiedenheiten zurückzuführen zu sein, nämlich auf die *Polarität*, die dem magnetischen, und auf die *Axialität*, die dem magnekrystallischen Zustande eigen ist. Denn nehmen wir ein gleichförmiges magnetisches Feld, dessen Erstreckung von Pol zu Pol drei Zoll beträgt, und einen in der

Mitte desselben aufgehängten, einen Zoll langen Stab aus magnetischer Substanz, so wird er sich vermöge der erlangten Polarität axial einstellen und durch seine Masse die magnetische Kraft weit besser fortführen oder leiten, als es derselbe Raum zuvor that, so dass die Kraftlinien zwischen den Enden des Stabes und den Magnetpolen sich concentriren und von grösserer Intensität sein werden als irgendwo sonst im magnetischen Felde. Nähert man die Pole dem Stab, so wird der Effect sich steigern und der Stab die Magnetkraft mehr und mehr leiten und sich mit entsprechender Stärke einstellen. Durch die Annäherung der Pole wird also nicht bloss das magnetische Feld stärker, sondern auch die von dem Stabe fortgeleitete Kraftmenge wird im Verhältniss zu derjenigen, welche ein gleich grosser Raum neben ihm im magnetischen Felde fortführt, grösser.

2629. Wird aber ein ähnlicher Stab aus magnekrystallischer Substanz in das magnetische Feld gebracht, so steigert sich seine Kraft durch Annäherung der Pole nicht in derselben Weise oder in demselben Verhältniss. Ohne Zweifel erhöht eine solche Annäherung die Intensität der Kraftlinien und hiermit die Intensität des magnekrystallischen Zustandes, allein dieser Zustand scheint nicht auf Polarität zu beruhen, und der Stab leitet durch sich nicht mehr Kraft als sonst durch einen gleichen Raum im magnetischen Felde fortgeleitet wird. Daher nimmt seine Directionskraft nicht in demselben raschen Maasse zu als die Directionskraft des eben erwähnten magnetischen Stabes.

2630. Nehmen wir also einen Stab, der, wie ein Eisenvitriolprisma, magnetisch und magnekrystallisch zugleich ist, und dessen Magnekrystallaxe senkrecht zu seiner Länge ist, so muss er in geeigneter Weise aufgehängt einen n-Abstand der Pole haben, innerhalb dessen die Kräfte nahezu im Gleichgewicht sein müssen, während bei einem grösseren Abstande der Pole die Magnekrystallkraft, und bei einem kleineren die magnetische Kraft ein Uebergewicht haben muss; einfach desshalb, weil die magnetische Kraft in Folge der wahren Polarität der Molecüle rascher wächst und abnimmt als die Magnekrystallkraft.

2631. Diese Ansicht stimmt auch mit der Thatsache, dass eine Aenderung der Stärke des Magnets auf den n-Abstand ohne Einfluss ist (2618, 2619), da eine Verdoppelung oder Vervierfachung desselben zugleich auch eine Verdoppelung oder Vervierfachung der magnetischen und magnekrystallischen Kraft zur Folge hat, und das Verhältniss bleibt demnach dasselbe.

2632. Das Heben oder Senken des Krystalls über oder unter die Linie des Maximums der magnetischen Kraft kommt im Principe offenbar der Trennung der Magnetpole gleich und muss daher entsprechende Wirkungen haben, was auch der Fall ist (2617). Ueberdies sind, wenn der Krystall über das Niveau der Pole gehoben wird, die durch ihn hindurchgehenden Resultirenden der magnetischen Kraft nicht mehr seiner Länge parallel, sondern mehr oder weniger gekrümmt, so dass sie dann wahrscheinlich

nicht so stark wirken können, um den ganzen Krystall in einen solchen polarisirten magnetischen Zustand zu versetzen, wie wenn sie der Länge prarallel sind; dagegen scheint hinsichtlich der Erregung des magnekrystallischen Zustandes jedes Theilchen eine von der der übrigen unabhängige Wirkung zu erleiden und daher ist hier von einer gemeinsamen Wirkung ein Verlust an Effect nicht zu spüren.

2633. Plücker sagte mir, als er im August in England war, dass bei Veränderung des Abstandes die auf die optische Axe ausgeübte Abstossungskraft weniger rasch ab- und zunimmt als die Magnetkraft, wogegen sie in ihrem Verhältniss zur Magnetkraft nicht geändert wird, wenn man einen stärkeren oder schwächeren Magnet anwendet. Dies ist offenbar derselbe Effect als der eben von mir beschriebene und überzeugt mich noch tiefer, dass seine und meine Resultate aus einer und derselben Ursache entspringen (2605, 2607).

2634. Ich habe gesagt, dass der Eisenvitriolkrystall sich innerhalb des n-Abstandes mehr oder weniger schief einstellt (2616), und will nun die Umstände specieller angeben. Wenn der Abstand n so regulirt wird, dass der zwischen den Magnetpolen befindliche prismatische Krystall einen Winkel von 30^0 (oder von beliebiger Grösse) mit der axialen Linie macht, dann findet man, dass er noch eine stabile Lage einnehmen kann, nämlich die diametrale (2461), dass aber die Neigung immer auf derselben Seite der axialen Linie liegt und dass der Krystall nicht mit derselben Neigung von 30^0 auf der anderen Seite der magnetischen Axe einsteht.

2635. Eine Drehung des Krystalls um 180^0 um eine verticale Axe, so dass die Enden ihre Lage vertauschen, ändert die Neigung und deren Richtung nicht; der Krystall erhält hierdurch einfach die diametrale Lage. Dreht man dagegen den Krystall um 180^0 um eine horizontale Axe, sei es, dass diese mit seiner das Maximum der magnetischen Richtung darstellenden Längsrichtung zusammenfällt, sei es, dass sie seiner Breitenrichtung, also der Magnekrystallaxe entspricht, dann bleibt die Grösse der Neigung dieselbe wie vorher, aber sie liegt nun auf der *anderen* Seite der axialen Linie.

2636. Dies ist der Fall bei allen von mir untersuchten prismatischen Eisenvitriolkrystallen. Die Erscheinung ist ganz bestimmt, und wie sich erwarten lässt, entsprechen zwei Krystalle, wenn die Richtung ihrer Neigung übereinstimmt, einander auch in der Lage ihrer Form und der Richtung ihrer verschiedenen Flächen.

2637. Alle diese Verschiedenheiten der Lage weisen auf eine schiefe Resultirende der aus der vereinten Wirkung der magnetischen und magnekrystallischen Kraft hervorgehenden Richtkraft, und sie würden sich erklären aus der Annahme, dass die Magnekrystallaxe oder die Linie des

Maximums der Magnekrystallkraft nicht senkrecht ist zu den Hauptflächen (oder Endflächen) des Krystalls, sondern in Richtung der Länge ein wenig geneigt.

2638. Ob dies der Fall ist, oder ob das Maximum der Linie der magnetischen Kraft auch nicht ein wenig zur Länge des Prismas geneigt ist, so liefert doch der n-Abstand ein ausgezeichnetes Mittel, diese Neigung, wie klein sie auch sein möge, experimentell zu untersuchen, da man den Einfluss der einen oder der anderen leicht in jedem beliebigen Grade überwiegen lassen kann.

Royal Institution,
5. December 1848.

2639. *Note* (2591). Es lässt sich noch eine andere Annahme aufstellen. Ich habe bereits gesagt, dass man die Einstellung durch die Annahme eines bloss axialen Zustandes (2587, 2591) ohne Anziehung und Abstossung erklären könne. Gesetzt nun, es wäre möglich, dass die Molecüle in Bezug auf den Nord- und Südpol des Magnets polar würden, doch *ohne gegenseitige Beziehung zu einander*, so könnte der Wismuthkrystall oder ein anderer sich so einstellen, wie wenn er bloss mit einer axialen Kraft begabt wäre; allein es erscheint mir sehr unwahrscheinlich, dass Polaritäten eines gegebenen Theilchens in einem Krystall dem Einfluss der Polaritäten der entfernten Magnetpole unterworfen sein sollten und nicht zugleich den *ähnlichen Polaritäten* der aneinanderstossenden Theilchen. — 24. Januar 1849.

DREIUNDZWANZIGSTE REIHE.[1])

§ 29. Ueber den polaren oder sonstigen Zustand diamagnetischer Körper.

Eingegangen am 1. Januar, — Gelesen am 7. und 14. März 1850.

2640. Vor vier Jahren sprach ich die Meinung aus, dass alle Erscheinungen, welche diamagnetische Körper darbieten, wenn sie den Kräften des magnetischen Feldes ausgesetzt sind, sich durch die Annahme erklären liessen, dass sie eine Polarität derselben Art, aber von entgegengesetztem Sinne annehmen, als Eisen, Nickel und die sonstigen gewöhnlichen magnetischen Körper (2429, 2430) unter denselben Umständen zeigen. Diese Ansicht wurde von Plücker, Reich und Anderen und vor Allen von W. Weber[2]) so günstig aufgenommen, dass ich grosse Hoffnung hegte, sie begründet zu sehen, und dies blieb auch mein Wunsch und meine Erwartung, obschon gewisse eigene Versuche (2497) meine Hoffnung nicht steigerten.

2641. Ob Wismuth, Kupfer, Phosphor u. s. w. im magnetischen Felde polar seien oder nicht, ist jedoch eine Frage von ungemeiner Wichtigkeit, und man sieht ein, dass sich in der Wirkungsweise dieser Körper sehr wesentliche und grosse Unterschiede zeigen müssen, je nachdem man von der einen oder anderen Ansicht ausgeht. Bei dem Mangel einer entschiedenen Meinung über diesen Punkt fand ich bei meinen Bemühungen, auf dem inductiven Wege des Experiments von dem in diesem Wissenschaftszweige Bekannten zu dem Unbekannten fortzuschreiten, so grosse Unsicherheit, Bedenken und Unruhe, dass ich beschloss, wennmöglich zu einer experimentellen Entscheidung in dem einen oder anderen Sinne zu gelangen. Dies war um so nothwendiger, als Weber in seiner wahrhaft wissenschaftlichen Abhandlung zu einem positiven Schluss gelangt ist; ich halte es jedoch für den Fortschritt der Wissenschaft für so wichtig, dass in diesen unvollkommen erforschten Grenzgebieten des Wissens unsere Schlüsse und Deductionen (abgesehen von Hypothesen) nicht über die Ergebnisse

---

[1]) Philosophical Transactions, 1850, p. 171.

[2]) Poggendorff's Annalen, 7. Januar 1848 (LXXIII, 241), oder Taylor's Scientific Memoirs V, p. 477.

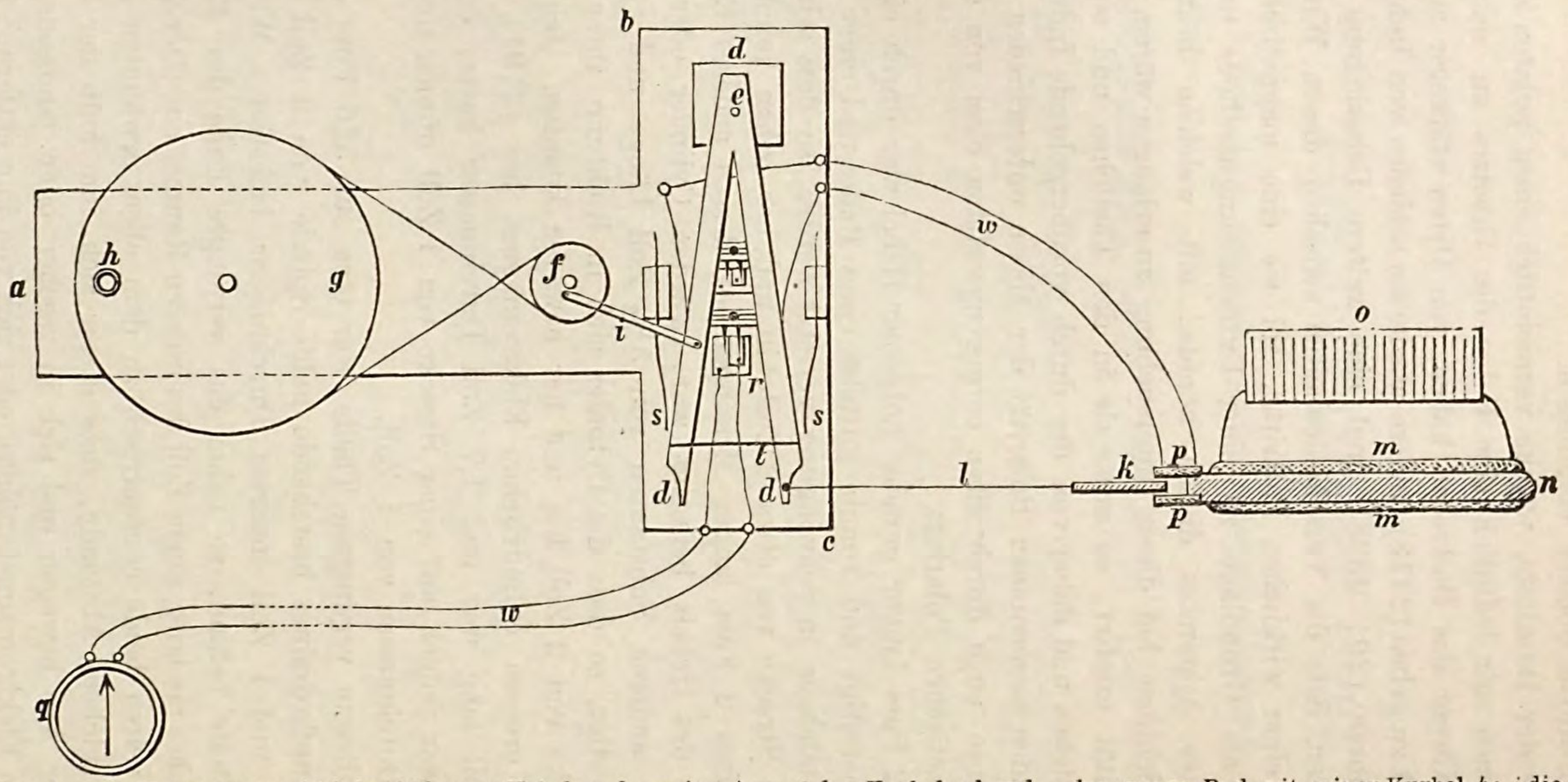
des Versuches hinaus oder wenigstens nicht abseits von ihnen gehen, dass ich kein Bedenken trage, meine Arbeiten hierüber, obschon ihr Resultat ein negatives ist, der Royal Society vorzulegen.

2642. Viele der Resultate, welche vermeintlich einen polaren Zustand andeuteten, schienen mir lediglich eine Folge des Gesetzes zu sein, dass diamagnetische Körper das Bestreben haben, von Orten stärkerer zu Orten schwächerer Kraft zu gehen (2418); andere wiederum schienen von Inductionsströmen herzurühren (26, 2338), und eine weitere Ueberlegung schien darauf hinzuweisen, dass die Verschiedenheiten zwischen diesen Wirkungsweisen und der einer wirklichen Polarität, sei sie eine magnetische oder diamagnetische, als Grundlage zu einer Untersuchungsmethode und zur Construction eines Apparates dienen könnte, mit welchem brauchbare Ergebnisse und Schlüsse bei dieser Untersuchung zu erlangen wären. Denn wenn die Polarität existirt, so muss sie in den Theilchen und eine Zeit lang dauernd bestehen und daher von der durch vorübergehende Inductionsströme herrührenden momentanen Polarität der Masse unterschieden werden können, und ebenso auch durch ihren entgegengesetzten Sinn von der gewöhnlichen magnetischen Polarität.

2643. Ein 2 Fuss langer gerader hölzerner Hebel war durch eine Axe an einem Ende befestigt und konnte mittelst eines Rades und einer Kurbel in einer Horizontalebene in Schwingung versetzt werden, so dass sein freies Ende durch eine Strecke von etwa 2 Zoll hin und her gehen konnte. An das eine Ende eines 2 Fuss langen Messingstabes, dessen anderes Ende an dem freien Ende des Hebels befestigt war, wurden Cylinder oder Kerne von Metall oder anderen Substanzen von $5^1/_2$ Zoll Länge und $^3/_4$ Zoll Durchmesser befestigt, so dass die Cylinder sich in Richtung ihrer Länge durch eine Strecke von 2 Zoll hin und her bewegen konnten. Ich stellte mir auch einen grossen cylindrischen Elektromagnet her (2191), dessen Eisenkern 21 Zoll lang war und 1,7 Zoll Durchmesser hatte; das eine Ende desselben war jedoch auf einer Strecke von 1 Zoll dünner und hatte dort nur einen Durchmesser von 1 Zoll.

2644. An diesem verjüngten Theile war eine aus 516 Fuss dünnen übersponnenen Kupferdrahtes bestehende hohle Spirale von 3 Zoll Länge, 2 Zoll äusserem und 1 Zoll innerem Durchmesser befestigt. Wenn sie sich an ihrer Stelle befand, so nahm das verjüngte Ende des Elektromagnetkerns, welches sie trug, einen Zoll des inneren Raumes ein. Der Magnet und die Spirale waren beide concentrisch zu dem oben erwähnten Metallcylinder und in solchem Abstande, dass dieser sich innerhalb der Spirale in Richtung ihrer Axe bewegen und sich in rascher oder langsamer Aufeinanderfolge dem Elektromagnet nähern oder sich von ihm entfernen konnte. Der kleinste Abstand des bewegten Cylinders vom Magnet während eines Hin- und Herganges betrug $^1/_8$ Zoll, der grösste 2,2 Zoll. Das Ziel war natürlich, den Einfluss der Metallcylinder bei ihrer Bewegung zum Magnet hin

Fig. 7.



abc ist ein Holzgestell; *ddd* der hölzerne Hebel und *e* seine Axe, *f* das Kurbelrad und *g* das grosse Rad mit seiner Kurbel *h*; *i* die das Kurbelrad und den Hebel verbindende Stange; *k* ist ein Cylinder oder Kern aus Metall, an dem der Versuch ausgeführt wird; *l* der ihn mit dem Hebel verbindende Stab; *m* die Spirale des Elektromagnets; *n* der Eisenkern und *o* die erregende Batterie; *p* die Versuchsspirale; *q* das 20 Fuss vom Elektromagnet entfernt stehende Galvanometer; *r* der Commutator; *ww* Verbindungsdrähte; *ss* Federn von Messing oder Kupfer; *t* ist ein die beiden Arme des Hebels, um ihm Festigkeit zu geben, verbindender Kupferstab. Die Zeichnung entspricht einem fünfzehntel der natürlichen Grösse; der Theil an dem Elektromagnet und an der Versuchsspirale ist ein Durchschnitt; die weitere Beschreibung ist in den Artikeln 2643, 2644, 2645 und 2648 enthalten.

oder von ihm fort oder in verschiedenen Abständen von demselben auf die Versuchsspirale aus dünnem Draht zu beobachten.[1])

2645. Die Enden dieser Spirale waren unter Zwischenschaltung eines Commutators mit einem sehr empfindlichen Galvanometer verbunden, das 18 bis 20 Fuss von dem Triebwerk entfernt aufgestellt und so dem directen Einfluss des Elektromagnets entzogen war. Dieser Commutator wurde durch den hölzernen Hebel (2643) in Bewegung gesetzt; da die von der Versuchsspirale ausgehenden und zu ihm gelangenden elektrischen Ströme bei einem vollständigen Hin- und Hergang des Metallcylinders (2643) aus zwei entgegengesetzt gerichteten Theilen bestanden, so hatte der Commutator die Aufgabe, bald diese Theile nach einander aufzunehmen und in einen in das Galvanometer zu sendenden gleichgerichteten Strom zu verwandeln, bald ihnen entgegenzuwirken und sie zu neutralisiren, und daher war er verstellbar gemacht, so dass er zu jeder Periode oder jeder Bewegungsphase geändert werden konnte.

2646. Wie bekannt, erleidet unter diesen Umständen das Galvanometer, wie kräftig auch der Magnet und wie empfindlich auch die übrigen Theile des Apparates sein mögen, keine Einwirkung, so lange die Stärke des Magnets, oder seine Wirkung auf benachbarte Körper, oder sein Abstand von der Versuchsspirale oder seine Lage zu derselben sich nicht ändert, allein die Einführung eines Stücks Eisen oder eines anderen Körpers, der auf den Magnet einzuwirken oder eine Einwirkung von ihm zu erleiden vermag, in die Spirale kann oder muss einen entsprechenden Einfluss auf diese und das Galvanometer aufweisen. Mein Apparat erscheint mir thatsächlich im Princip und in der Ausführung nahezu gleich dem von Weber (2640) zu sein, allein er liefert mir entgegengesetzte Resultate.

2647. Um jedoch zu richtigen Schlüssen zu gelangen, ist es sehr wesentlich, viele Punkte, die anfänglich unwichtig scheinen mögen, mit äusserster Sorgfalt zu behandeln. Alle Theile des Apparates müssen vollkommene Festigkeit besitzen und nahezu mit derselben Sorgfalt wie ein astronomisches Instrument aufgestellt sein. Denn in Folge der Construction kann jede Bewegung eines Theiles desselben mit der Bewegung des Commutators synchron sein, können unwahrnehmbar kleine Wirkungen sich summiren und vereint am Galvanometer sich offenbaren, und so können ohne die gehörige Sorgfalt Irrthümer für wirkliche und richtige Ergebnisse genommen werden. Daher standen die einzelnen Theile meines Apparates, das Triebwerk (2643 etc.), der Magnet mit der Spirale und das Galvanometer auf besonderen Unterlagen und diese wiederum auf einem steinernen Fussboden; der Tisch, welcher das Triebwerk trug, war gegen das benachbarte Mauerwerk sorgfältig festgestemmt.

---

[1]) Es ist sehr wahrscheinlich, dass man mit kürzeren Cylindern von grösserem Durchmesser als die eben beschriebenen und mit einer entsprechend weiteren Spirale bessere Resultate erzielen könnte, als ich erhalten habe.

2648. Ferner muss der Apparat selbst vollkommen fest sein und, ohne bei seiner Bewegung eine Erschütterung zu erleiden, erstere doch leicht und frei ausführen. In keinem der beweglichen Theile darf Eisen angewandt werden. Zur Aufnahme und Umwandlung eines Theiles der Bewegungsgrösse am Ende eines Hin- und Herganges benutze ich Federn, aber es ist wesentlich, dass sie aus gehämmertem Messing oder Kupfer bestehen.

2649. Der Cylinder oder Kern darf bei seiner Bewegung die Versuchsspirale und den Magnet durchaus nicht im mindesten stören oder erschüttern. Eine solche Erschütterung kann leicht vorkommen, ohne dass man sie (wenn man nicht genügende Erfahrung hat) wahrnimmt. Es ist wichtig, die Kerne aus solchen Substanzen wie Wismuth, Phosphor, Kupfer u. s. w. so breit als möglich zu nehmen, doch fand ich es nicht rathsam, weniger als ein achtel Zoll Spielraum zwischen ihnen und der Innenfläche der Spirale zu lassen. Um den Kern gleichsam in der Luft schweben zu lassen, ist es zweckmässig, ihn an einem einmal um ihn geschlungenen dünnen Kupferdraht aufzuhängen, dessen aufwärts gerichtete Enden an zwei in gleicher Höhe, aber weit auseinander liegenden Punkten befestigt werden, so dass der Draht ein V bildet. Diese Aufhängung erhält den Kern an jeder Stelle seiner Bewegung parallel mit sich selbst.

2650. Der Magnet wird, durch einen elektrischen Strom von fünf Grove'schen Plattenpaaren erregt, sehr stark. Er behält, wenn die Batterie geöffnet wird, noch einen schwachen Magnetismus zurück, und ich will, wenn ich ihn so anwende, sagen, dass er sich im *remanenten Zustande* befindet. In diesem remanenten Zustande kann sein Magnetismus eine Weile als constant angesehen werden, und die Versuchsspirale kann in jedem Augenblick mit dem Galvanometer verbunden werden, ohne dass ein Strom auftritt. Wird aber der Magnet erregt, so sind gewisse Vorsichtsmassregeln wichtig und nothwendig; denn wenn man die Batterie mit dem Elektromagnet und dann die Versuchsspirale mit dem Galvanometer verbindet, so tritt in diesem ein Strom auf, der in manchen Fällen eine Minute oder länger andauern kann, und der den Anschein hat, als ob er von dem der Batterie herrührte. Er entsteht jedoch nicht so, sondern rührt davon her, dass der Eisenkern *Zeit* braucht, ehe er das Maximum seines magnetischen Zustandes erreicht (2170, 2332); während dieser ganzen Zeit wirkt letzterer nun auf die Spirale ein und erregt so einen Strom in ihr. Diese Zeit ist unter verschiedenen Umständen und bei einem und demselben Elektromagnet insbesondere verschieden je nach der Zeit, während welcher der Magnet ausser Gebrauch war. Wird der Magnet nach zwei- bis dreitägiger Ruhe angewandt, so beträgt dieselbe achtzig bis neunzig Secunden und darüber. Oeffnet man nun die Batterie und schliesst sie bald darauf wieder, so wiederholt sich die Erscheinung, dauert aber nur zwanzig bis dreissig Secunden. Bei einer dritten Oeffnung und Schliessung dauert der

Strom eine noch kürzere Zeit, und wenn man den Magnet einige Zeit hindurch in kurzen Zwischenräumen gebraucht, so scheint er befähigt zu sein, fast auf einmal das Maximum seines Magnetismus anzunehmen. Bei jedem Versuch muss man warten, bis der Effect am Galvanometer vorüber ist; sonst könnte man die letzten Ueberbleibsel dieses Effectes irrthümlicherweise für eine Folge der Polarität oder eine eigenthümliche Wirkung des Wismuths oder eines anderen der Untersuchung unterliegenden Körpers halten.

2651. Das von mir benutzte Galvanometer war von Ruhmkorff verfertigt und sehr empfindlich. Die Wirkung der Nadeln war verstärkt und sie waren einander so nahe gleich, dass eine einzige Schwingung nach rechts oder links sechzehn bis zwanzig Secunden dauerte. Wenn ich mit Körpern wie Wismuth und Phosphor experimentirte, so beobachtete ich die Stellung der Nadel durch eine Lupe. Von der vollkommenen metallischen Verbindung sämmtlicher Theile des Kreises überzeugte man sich stets durch ein schwaches Thermoelement, das mit der Hand erwärmt wurde. Dies geschah auch für jede Lage des Commutators, in welchem die bei zwei- bis dreitägiger Ruhe an irgend einer Stelle gebildete Oxydschicht völlig hinreichte, einen schwachen Strom zu unterbrechen.

2652. Um die von den magnetischen und diamagnetischen Körpern dargebotenen Erscheinungen direct mit einander vergleichen zu können, habe ich nicht sowohl die in der Versuchsspirale erregten Ströme als vielmehr die Erscheinungen am Galvanometer aufgezeichnet. Als normale Richtung der Ablenkung wurde diejenige angesehen, welche ein Eisendraht hervorbringt, der sich in derselben Richtung bewegt wie die Versuchsspirale, und wobei sich der Commutator und die Verbindungsdrähte unter denselben Bedingungen befinden, wie das Wismuth oder ein anderer Körper, dessen Wirkungen zu beobachten und zu vergleichen waren.

2653. Eine mit einer gesättigten Lösung von Eisenvitriol gefüllte dünne Glasröhre von der angegebenen Grösse (2643), $5^1/_2$ zu $^3/_4$ Zoll, wurde als Versuchskern angewandt. Die dem Triebwerk ertheilte Geschwindigkeit war bei allen Versuchen im Mittel derart, dass der Kern sich fünf- bis sechsmal in der Secunde näherte und entfernte. Allein die Lösung brachte keine merkliche Wirkung am Galvanometer hervor. Eine magnetische Glasröhre (2354) und ein Kern von Schreibpapier, das sich zwischen den Polen des Elektromagnets magnetisch zeigte, waren gleichfalls unwirksam. Eine mit kleinen Krystallen von Eisenvitriol gefüllte Röhre bewirkte eine Ablenkung der Nadel um 2^0, und denselben Erfolg hatten Kerne von einzelnen grossen Krystallen oder symmetrischen Krystallgruppen von Eisenvitriol. Eisenoxyd (Colcothar) hatte den möglich kleinsten Effect;

Eisenhammerschlag und metallisches Eisen (letzteres als dünner Draht) gaben starke Wirkungen.

2654. Wenn die Nadel eine Ablenkung erfuhr, so war die Richtung derselben stets in Uebereinstimmung mit der Wirkung eines magnetischen Körpers; aber in manchen Fällen war die Ablenkung bei notorisch magnetischen Körpern klein oder Null. Dies beweist, dass eine solche Anordnung keineswegs ein so gutes Prüfungsmittel auf magnetische Polarität ist als die Anwendung einer einfachen oder astatischen Nadel. Die geringere Leistungsfähigkeit in dieser Hinsicht beeinträchtigt jedoch nicht die Zweckmässigkeit des Apparates zur Erforschung der Natur der Erscheinungen, welche in Weber's, Reich's und Anderer Versuchen auftreten.

2655. Andere Metalle als Eisen wurden nun mit bestem Erfolge angewandt. Waren sie magnetisch, wie Nickel und Cobalt, so erfolgte die Ablenkung in demselben Sinne wie beim Eisen. Bei diamagnetischen Metallen hatte die Ablenkung die entgegengesetzte Richtung, und bei einigen Metallen, wie Kupfer, Silber und Gold betrug sie 60^0 bis 70^0 und blieb so lange bestehen, als das Triebwerk arbeitete. Allein die Ablenkung war nicht am grössten für die am stärksten diamagnetischen Substanzen, wie Wismuth oder Antimon oder Phosphor; ich habe mich im Gegentheil bis jetzt nicht überzeugen können, dass diese drei Körper überhaupt eine Wirkung geben. Im Ganzen zeigte sich die Wirkung proportional der elektrischen *Leitungsfähigkeit* der Substanzen. Gold, Silber und Kupfer brachten starke Ablenkungen hervor, Blei und Zinn geringere; Platin eine sehr kleine, Wismuth und Antimon gar keine.

2656. Demnach hatte ich allen Grund zu glauben, dass die Wirkungen durch die in der Masse der bewegten Metalle inducirten Ströme und nicht durch eine Polarität ihrer Theilchen hervorgebracht wurden. Ich suchte daher diese Meinung durch verschiedene Beschaffenheit der Kerne und des Apparates zu prüfen.

2657. Denn zunächst mussten, wenn die Wirkung durch inducirte Ströme hervorgebracht wurde, diese vorzugsweise in dem dem erregenden Magnet benachbarten Theil des Kernes existiren und nur in geringem Maasse in den entfernteren Theilen, während bei einer Substanz wie Eisen in Folge der Polarität, welche sie als Ganzes annimmt, die Länge ein wichtigeres Element bildet. Ich verkürzte also den Kupferkern von $5^1/_2$ Zoll (2643) auf 2 Zoll, ohne die Wirkung merklich vermindert zu finden; selbst wenn er nur einen Zoll lang war, war sie nur wenig kleiner als zuvor. Wenn dagegen ein als Kern dienender dünner Eisendraht, der bei $5^1/_2$ Zoll Länge eine starke Wirkung gab, auf 2 Zoll verkürzt wurde, so war dieselbe erheblich schwächer und nahm noch weiter ab, wenn er bis auf 1 Zoll verkürzt wurde. Es ist nicht schwer, einen Kupferkern mit einem dünnen Eisendraht in seiner Axe zu construiren derart, dass er, wenn seine Länge eine gewisse Grösse übersteigt, die Wirkungen des Eisens, und

unterhalb dieser Grösse die dem Kupfer entsprechenden Wirkungen hervorbringt.

2658. Wenn ferner die Wirkung von Strömen, die in der Masse inducirt werden, herrührt (2642), so muss eine Zertheilung der Masse diese Ströme hemmen und so die Wirkung ändern, während wenn sie auf einer wirklichen diamagnetischen Polarität beruhte, eine Zertheilung der Masse die Polarität nicht erheblich oder nicht in ihrem wesentlichen Charakter (2430) ändern würde. Es wurden daher Kupferfeilspäne, um sie von etwa anhaftendem Eisen zu befreien, einige Tage in verdünnter Schwefelsäure digerirt, dann gut ausgewaschen und getrocknet, hierauf erwärmt und an der Luft umgerührt, bis die Orangefärbung erkennen liess, dass sich eine ganz dünne Oxydhaut auf ihnen gebildet hatte, und schliesslich in eine Glasröhre (2653) gebracht, um als Kern zu dienen. Nun gab das Kupfer gar keinen Effect, sondern war so unwirksam wie Wismuth.

2659. Das Kupfer kann jedoch so zertheilt werden, dass es die Entstehung der vorausgesetzten Ströme hindert oder nicht. Dünner Kupferdraht wurde in Stücke von $5^1/_2$ Zoll Länge zerschnitten und so viele von ihnen aneinander gelegt, dass sie einen dichten Cylinder von dreiviertel Zoll Durchmesser bildeten (2643); er gab dann keine Wirkung am Galvanometer. Ein anderer Kupferkern, der aus einem System dünner *Scheiben* von dreiviertel Zoll Durchmesser bestand, bewirkte einen Ausschlag der Nadel von 25^0 bis 30^0.

2660. Ich wandte darauf als Versuchskern einen aus übersponnenem Kupferdraht von $^1/_{16}$ Zoll Dicke hergestellten massiven schraubenförmigen Cylinder von dreiviertel Zoll Durchmesser und zwei Zoll Länge an. Waren die beiden Enden nicht miteinander verbunden, so war an der Versuchsspirale und folglich auch an dem Galvanometer keine Wirkung vorhanden, dagegen erfuhr die Nadel eine Einwirkung, wenn die Enden an einander gelöthet waren. Im ersten Falle konnten sich die Ströme in der Masse nicht ausbilden, weil der metallische Kreis unterbrochen war, im zweiten konnten sie es, da der metallische Kreis geschlossen war; eine solche Zertheilung hinderte also die Entstehung der Ströme nicht.

2661. Dieselben Resultate wurden mit anderen Metallen erhalten. Ein cylindrischer Kern aus Gold, aus Halb-Sovereigns bestehend, übte eine kräftige Wirkung auf das Galvanometer. Sehr wirksam war auch ein Silbercylinder aus Sixpennystücken, aber ein aus gefälltem, so dicht als möglich in einer Glasröhre zusammengepresstem Silber gebildeter Cylinder gab keine Spur einer Wirkung. Dieselben Resultate lieferten Scheibencylinder von Zinn und Blei; die Wirkungen entsprachen der schlechten Leitungsfähigkeit (2655) dieser Metalle.

2662. Der Einfluss einer Zertheilung des Eisens war ganz und gar nicht so. Man musste ein viel roheres Galvanometer und einen roheren Apparat benutzen, aber dann zeigte ein Vergleich zwischen einem massiven

Eisenkern und einem aus dünnen Eisendrähten von derselben Grösse und demselben Gewicht bestehender Kern (2659), dass die Zertheilung den letzteren nicht verschlechtert hatte. Dass es so sein muss, zeigen die ausgezeichneten Experimentaluntersuchungen von Dove[1]) über die Inductionselektricität.

2663. Die Folge der Zertheilung der diamagnetischen Metalle ist also durchaus derart, dass sie zur Bekräftigung des Schlusses dient, dass die von ihnen hervorgebrachten Wirkungen auf Inductionsströmen, die durch ihre Masse laufen, und nicht auf einer ihrer allgemeinen Natur nach der des Eisens analogen (obschon der Richtung nach entgegengesetzten) Polarität beruhen.

2664. Noch eine dritte (2656) und sehr wichtige Unterscheidung lässt sich in dem Verhalten eines diamagnetischen Metalls experimentell darthun, je nachdem man als Ursache eine wirkliche Polarität oder nur das Auftreten vorübergehender Inductionsströme annimmt; und da für diese Betrachtung diamagnetische und magnetische Polarität einerlei sind, so lässt sich dieselbe am besten in Bezug auf Eisen anstellen.

2665. Wenn irgend ein Kern mit gleichförmiger Geschwindigkeit dem erregenden Magnet genähert und von ihm entfernt wird, so lässt sich ein vollständiger *Hin-* und *Her*gang in vier Abschnitte eintheilen: den *Hingang*, das *Stillstehen*, den *Hergang* und das abermalige *Stillstehen*. Wenn ein Eisenkern diesen Lauf zurücklegt, so wird sein dem erregenden Magnet zugekehrtes Ende ein Pol, dessen Stärke wächst, bis er den kleinsten Abstand von demselben erreicht hat, und wieder abnimmt bis zu seinem grössten Abstand von dem Magnet. Diese Bewegung an sich und ihr *Fortschreiten* nach innen und aussen induciren in der umgebenden Spirale Ströme, die beim Rückgang des Kernes die entgegengesetzte Richtung haben wie bei der Annäherung desselben. In Wirklichkeit bewegt sich jedoch das Eisen nicht mit constanter Geschwindigkeit. Denn da die Bewegung durch die sich drehende Kurbel des Triebwerks (2643) mitgetheilt wird, so wächst dieselbe allmählich vom Ruhezustande bis zu einer Maximalgeschwindigkeit auf der Hälfte des Weges und nimmt dann ebenso allmählich bis zur Ruhe in der Nähe des Magnets ab; beim *Rückgang* finden dieselben Aenderungen statt. Da nun der Maximaleffect auf die umgebende Spirale zugleich von der Geschwindigkeit und der Intensität der magnetischen Kraft am Ende des Kernes abhängt, so ist klar, dass er nicht bei der Maximalgeschwindigkeit, welche in der Mitte des *Hin-* oder *Her*ganges erreicht wird, auch nicht bei dem *Stillstand* in der grössten Nähe des erregenden Magnets, wo die magnetische Kraft des Kernes am grössten ist, sondern an irgend einem zwischen diesen Phasen liegenden Orte auftreten wird.

---

[1]) Taylor's Scientific Memoirs, V, p. 129. Die Abhandlung trägt kein Datum.

Nichtsdestoweniger erregt der Kern während seines *ganzen* Hinganges einen Strom von bestimmter Richtung in der Versuchsspirale und einen Strom von entgegengesetzter Richtung während seines ganzen Rückganges.

2666. Wenn nun diamagnetische Körper unter dem Einfluss des erregenden Magnets gleichfalls einen polaren Zustand annehmen, und der einzige Unterschied zwischen ihnen und Eisen darin besteht, dass die gleichnamigen Pole oder Kräfte ihren Ort vertauscht haben (2429, 2430), dann muss bei ihnen ein Vorgang derselben Art stattfinden, wie der eben beim Eisen beschriebene, und der einzige Unterschied wäre der, dass die Ströme die entgegengesetzte Richtung hätten wie die durch das Eisen erregten.

2667. Wenn also ein Commutator in dem einen oder anderen Falle diese Ströme aufnehmen und als einen gleichgerichteten Strom in das Galvanometer senden soll, so muss er seine Lage in den Momenten der beiden *Stillstände* (2665) ändern; so würde er dem Zwecke vollkommen dienen. Wenn andererseits der Commutator seine Lage zu den Zeiten der Maximalgeschwindigkeit oder Maximalintensität, oder zu zwei anderen, gleich weit von dem einen wie von dem anderen *Stillstand* abliegenden Zeitabschnitten ändert, dann würden die zwischen den Lagenänderungen aufgefangenen entgegengesetzten Ströme einander genau neutralisiren, und es würde gar kein Strom in das Galvanometer gesandt werden.

2668. Dieser Art ist nun, wie der Versuch lehrt, die Wirkung des Eisens. Wenn ein Eisendraht bei verschiedenen Lagen des Commutators einfach in die Versuchsspirale eingeführt oder aus ihr herausgezogen wird, so sind die Resultate genau die eben angegebenen. Setzt das Triebwerk einen Eisendrahtkern in Bewegung, und ändert der Commutator seine Lage bei den Stillständen (2665), dann ist der aufgenommene und in das Galvanometer gesandte Strom ein Maximum; ändert der Commutator seine Lage in den Augenblicken der Maximalgeschwindigkeit oder zu zwei anderen gleich weit von dem einen wie von dem anderen Stillstand abliegenden Zeitmomenten, so ist der Strom im Commutator ein Minimum oder Null.

2669. Um dieses Resultat rein zu erhalten, muss man einige Vorsichtsmassregeln beachten. In erster Linie muss das Eisen weich und darf nicht schon vorher magnetisch sein. Demnächst hat man sich gegen folgende Erscheinung zu hüten. Wenn der Eisenkern sich zu Beginn eines Versuches fern von dem erregenden Magnet befindet, so wird man, wenn man das Triebwerk arbeiten lässt, einige Augenblicke lang eine Ablenkung des Galvanometers in der einen Richtung, es dann, trotz fortgesetzter Thätigkeit des Triebwerkes, umkehren und allmählich die Nulllage einnehmen sehen. Befindet sich der Eisenkern zu Beginn des Versuches in seinem kürzesten Abstand von dem erregenden Magnet, so wird die Galvanometernadel eine Ablenkung in der der vorigen entgegengesetzten Richtung erleiden und sich dann wieder auf Null einstellen. Diese Effecte rühren davon her, dass der Magnetismus des Eisens, wenn es fern von dem

erregten Magnet ist, nicht so stark ist, und wenn es sich ihm am nächsten befindet, stärker ist, als der *Mittel-* oder *Durchschnittswerth* während der Dauer eines Versuches beträgt, und dass es beim Ansteigen und Herabsinken zu diesem Mittelwerth zwei entgegengesetzt gerichtete Ströme erregt, welche sich eben bei den beschriebenen Versuchen zeigen. Diese bloss in den ersten Momenten bestehenden Ströme geben sich am Galvanometer zu erkennen und bewirken eine allmählich ablaufende Schwingung desselben.

2670. Noch eine andere Vorsichtsmassregel muss ich genauer angeben. Wenn der Commutator seine Lage nicht genau an den gegebenen Punkten des Weges wechselt, so bleibt bei jedem Wechsel eine geringe Wirkung bestehen und kann eine dauernde Ablenkung der Nadel in der einen oder anderen Richtung hervorbringen. Die Zungen meines Commutators, welche rechtwinkelig zur Richtung der Bewegung und etwas biegsam waren, schleiften bei den *Hin-* und *Her*gängen ein wenig und brachten so einigermaassen den Commutator in die Lage, welche für die Ansammlung (aber nicht für die Neutralisirung) der Ströme die günstigste war, und es trat eine Ablenkung nach rechts oder links auf (2677). Nachdem ich die Ursache erkannt und die Zungen steifer gemacht hatte, so dass sie sich nicht biegen konnten, zeigte sich die Erscheinung nicht mehr, und das Eisen übte keinerlei Wirkung aus.

2671. Dies sind also die Erscheinungen, welche man mit einem Eisenkern erhält, und sie würden ebenso bei einem Kern aus Kupfer oder Wismuth auftreten, wenn deren Wirkung auf einer diamagnetischen Polarität beruhte. Betrachten wir nun die Folgen, die sich ergeben würden, wenn die Wirkung eines Kupfer- oder Wismuthkernes auf Strömen von der vorausgesetzten Natur (2642) beruhte, die während der Bewegung in seiner Masse inducirt würden. Wenn der Kupfercylinder sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit (2665) bewegte, so würden während der ganzen Dauer der Bewegung Ströme in ihm existiren, die seinem Umfange parallel wären und ihre grösste Stärke gerade vor oder gerade nach dem Stillstande beim *Hin*gange hätten, da eben dann das Kupfer sich an Stellen der grössten Intensität des magnetischen Feldes befände. Der ansteigende Strom im Kupferkern beim *Hin*gange würde einen Strom in der einen Richtung, das Stillstehen des Kupferkerns und in Folge dessen die Abnahme des Stromes in ihm einen Strom in der entgegengesetzten Richtung in der Versuchsspirale hervorrufen. In dem Augenblick, in welchem der Kern seinen *Rückgang* beginnt, würde in ihm ein Strom von maximaler Stärke von entgegengesetzter Richtung als bei der ersteren Bewegung entstehen, und dieser würde in der Versuchsspirale einen Strom von derselben Richtung, wie die des zuletzt in ihr aufgetretenen induciren; mit der Entfernung des Kernes würde der Strom in ihm abnehmen und hierdurch sowie durch sein schliessliches Stillstehen würde er einen vierten Strom von derselben Richtung wie der erste in der Versuchsspirale hervorrufen.

2672. Die vier in der Versuchsspirale erzeugten Ströme wechseln

also zu je zweien ihre Richtung, d. h. die bei der Abnahme des ersten Stromes in dem Kerne und beim Ansteigen des zweiten, entgegengesetzt gerichteten Stromes erregten Ströme haben dieselbe Richtung. Sie sind unmittelbar vor und nach dem Stillstehen des Kernes in der Nähe des Magnets da, d. h. von dem Augenblick des Strommaximums (in dem Kern) vor dem Stillstand bis zu dem Augenblick, wo der Strom nach dem Stillstand ein Maximum ist; dauert das Stillstehen nur einen Augenblick, so bestehen auch sie nur diesen Augenblick und müssen während dieser kurzen Zeit von dem Commutator aufgenommen werden. Die während der Abnahme des zweiten Stromes in dem Kern und während des Ansteigens eines (mit dem ersten identischen) dritten Stromes bei der Rückkehr des Kernes zum Magnet in der Versuchsspirale erregten Ströme sind ebenfalls von gleicher Richtung und dauern vom Beginn des Abfalles bis zum Ende des Ansteigens (oder vom Maximum bis zum nächsten Maximum) der Ströme im Kerne, d. h. fast während des ganzen von dem Kerne zurückgelegten Weges, und diese muss der Commutator bei seinem Lagenwechsel in den Momenten des Maximums aufnehmen und in das Galvanometer senden.

2673. Der Kern bewegt sich jedoch nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit; er ändert plötzlich seine Richtung und hat, wie oben bemerkt (2665), seine grösste Geschwindigkeit auf der Hälfte des Hinganges zu dem erregenden Magnet und des Rückganges von demselben. Hieraus ergiebt sich ein sehr wichtiger Vortheil. Denn man kann sagen, dass der Kern, unmittelbar nachdem die Geschwindigkeit den höchsten Werth erreicht hat, stillzustehen beginnt, und wenn die magnetischen Kraftlinien in Lage und Intensität denen bei grösserer Annäherung an den Magnet gleich wären, so würden die entgegengesetzten Ströme in der Versuchsspirale an diesen Punkten des Weges ihren Anfang nehmen; da aber der Kern nun in ein Gebiet des Feldes von grösserer Intensität eintritt, so wächst der Strom noch an, obwohl die Geschwindigkeit abnimmt, und die Folge davon ist, dass die grösste Stromstärke weder an dem Orte der grössten Geschwindigkeit noch der grössten Kraft, sondern an einem zwischen diesen beiden liegenden Punkte erreicht wird. Dies gilt sowohl für die Annäherung als auch für die Entfernung des Kernes, indem in beiden Fällen das Maximum der Stromstärke an gleich weit von der Ruhelage in der Nähe des erregenden Magnets entfernten Punkten auftritt.

2674. An diesen beiden Punkten muss also der Commutator seine Lage wechseln, wenn die, unter dem Einfluss oder in Folge der in dem Kern inducirten Ströme, in der Versuchsspirale erregten Ströme die stärkste Wirkung auf das Galvanometer ausüben sollen. Der Versuch bestätigt diesen Schluss vollkommen. Theilt man die 2 Zoll betragende Weglänge von dem Stillstand ausserhalb und dem Stillstand innerhalb der Spirale (2643, 2644) in 100 Theile und denkt man sich den erregenden Magnet zur Rechten, so soll ein Zahlenausdruck wie 50|50 den Ort vorstellen, wo der Commu-

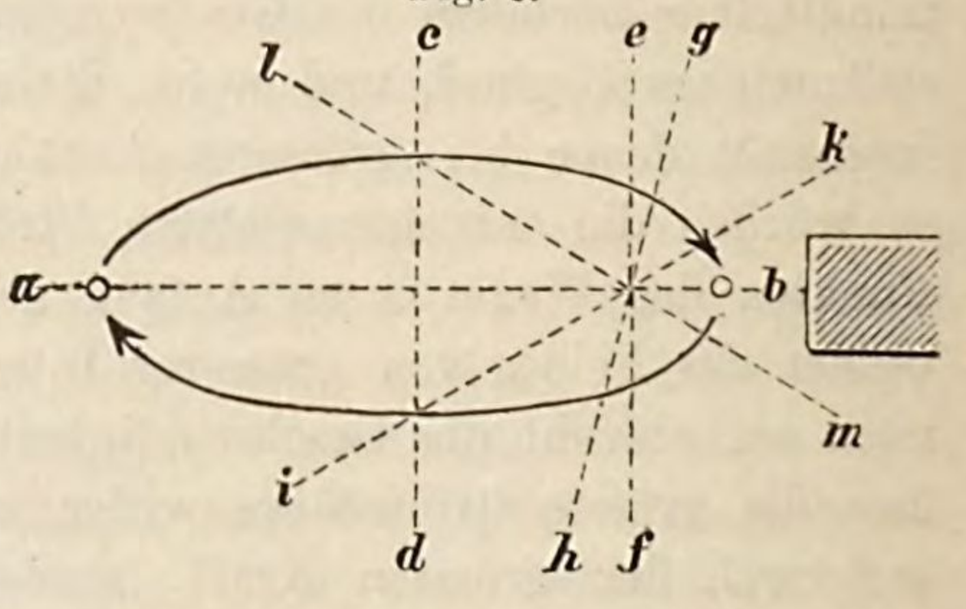
tator seine Lage wechselt, also die Mitte des Hin- und Herganges oder die Orte grösster Geschwindigkeit.

2675. Verschiedene Einstellungen des Commutators, die ich versuchte, haben mir mit einem Kupferkern bei 77|23 bis 88|12 das beste Resultat ergeben. Auf Grund vieler Versuche komme ich nach Allem zu dem Schluss, dass, wenn die Stärke des Elektromagnets, der kürzeste Abstand des Versuchskernes von dem Magnet, die Weglänge und mittlere Geschwindigkeit des Triebwerkes gegeben ist, 86|14 die Punkte darstellen, wo die in dem Kern inducirten Ströme am stärksten sind, und der Commutator seine Lage wechseln muss.

2676. Aus dem oben (2667) Gesagten ersieht man, dass diese Punkte der Theorie wie der Erfahrung nach diejenigen sind, wo die von einer Polarität, einer magnetischen oder diamagnetischen, herrührende Wirkung Null sein muss. Hiernach ist die Möglichkeit gegeben mittelst dieses Apparates die Wirkungen magnetischer sowie diamagnetischer Polarität und der Induction der Metalle und anderer Körper von einander zu trennen; und zwar können sie entweder mittelst des Commutators oder auf Grund der Richtung der Polarität gesondert werden, und ferner können sie auch auf verschiedene Weise combinirt werden, um über ihren vereinten und getrennten Einfluss Aufschluss zu erhalten.

2677. Denn stellen die Pfeile in dem Diagramm den Hin- und Hergang, und die Schnittlinien ab oder cd etc. die Perioden des Weges vor, in denen der Commutator seine Lage wechselt (in welchem Falle cd 50|50 und ef 86|14 entsprechen wird), so stellt ab die Lage des Commutators dar, in welcher für Eisen oder einen anderen polaren Körper der Effect ein Maximum wäre. Wird die Linie ab gedreht, bis sie cd parallel ist, so wird sie in allen Lagen nach und nach die Punkte des Lagenwechsels des Commutators angeben, in denen sich die Wirkung des Eisens durch eine Ablenkung der Galvanometernadel von stets gleich bleibender Richtung zu erkennen geben wird; nur wenn die Enden a und b die Punkte c und d oben oder unten überschritten haben, wird sich der Sinn der Ablenkung durch die Eisenwirkung ändern. Die Linie ab aber giebt die Lagen des Commutators an, in denen kein von der Induction von *Strömen* in der Masse des Kernes herrührender Effect auf das Galvanometer ausgeübt wird. Wenn die Linie geneigt ist, wie ik, so bringen diese Ströme eine Ablenkung am Galvanometer in der einen Richtung hervor, und eine Ablenkung in der anderen Richtung, wenn die Linie wie lm geneigt ist. Demnach können die Wirkungen dieser Inductionsströme mit denen einer Polarität, sei sie

Fig. 8.



magnetisch, sei sie diamagnetisch, entweder combinirt werden oder ihnen entgegenwirken.

2678. Alle oben (2655) erwähnten Metalle, Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Platin, Antimon und Wismuth wurden bei der günstigsten Stellung des Commutators (2675) dem Einfluss des Elektromagnets unterworfen. Die Wirkungen waren nun, da sie im Maximum waren, stärker als früher, aber von derselben Ordnung. Bei Antimon und Wismuth waren sie sehr schwach, betrugen nur einen halben Grad und rührten sehr wahrscheinlich von einer noch übrig gebliebenen unregelmässigen Wirkung irgend eines Theiles des Apparates her. Alle Versuche mit den zertheilten Kernen (2658 etc.) wurden mit dem früheren Erfolge wiederholt. Phosphor, Schwefel und Guttapercha liessen ebenso wenig bei dieser wie bei der vorigen Stellung des Commutators eine Spur einer Wirkung am Galvanometer erkennen.

2679. Um ein Beispiel von der Art zu geben, wie bei dieser Lage des Commutators eine Trennung der Wirkungen des Kupfers und des Eisens erzielt wurde, hatte ich mir einen 2 Zoll langen Kupfercylinder mit einem Eisendraht in seiner Axe hergerichtet. In den Apparat eingestellt, gab er die reine Wirkung des Kupfers mit seinen Inductionsströmen. Aber als Ganzes erwies dieser Kern sich einer gewöhnlichen Nadel gegenüber stark magnetisch, und wenn die Lagenwechsel des Commutators nicht in gleich weit von dem einen wie von dem anderen Stillstand entfernt liegenden Zeiten erfolgte (2670, 2677), so trat die Wirkung des Eisens kräftig hervor, überwältigte die erstere und bewirkte starke entgegengesetzte Ablenkungen der Nadel. Der von mir benutzte Platinkern war ein unvollkommener Cylinder von 2 Zoll Länge und 0,62 Zoll Dicke; er stellte sich zwischen den Polen eines hufeisenförmigen Elektromagnets (2381) magnetisch ein und vollführte in weniger als einer Secunde eine Schwingung, aber bei der obigen Stellung des Commutators (2675) bewirkte er in Folge der Inductionsströme eine Ablenkung von 4^0, während der magnetische Effect vernichtet oder eliminirt war.

2680. Um die früheren Schlüsse (2677) zu bestätigen, wurden einige combinirte Wirkungen durch Schrägstellung der Spitzen des Commutators hervorgebracht. War der Commutator so eingestellt, dass eine polare Kraft, welche etwa das Wismuth als diamagnetischer Körper besitzt, sich mit dem Leitungsvermögen, welches die Ausbildung von Inductionsströmen in seiner Masse (2676) gestatten würde, combiniren konnte, so waren die Wirkungen doch so winzig und unbestimmt, dass ich gezwungen bin zu sagen, dass die Versuche weder eine polare noch eine Inductionswirkung erkennen lassen.

2681. Es lässt sich zweckmässig noch eine andere Unterscheidung aufstellen zwischen den Wirkungen einer wahren dauernden magnetischen oder diamagnetischen Polarität und denen der vorübergehenden, von der *Zeit* ab-

hängigen Inductionsströme. Vernachlässigen wir den Widerstand des Kreises, in den die Versuchsspirale und die Galvanometerspirale eingeschlossen sind, so erregt ein Magnetpol von constanter Stärke, der eine gewisse Strecke in die Spirale eingeführt wird, dieselbe Menge strömender Elektricität in ihr, gleichviel ob der Pol rasch oder langsam hineingeschoben wird. Mit dem Eisenkern (2668) erhält man dasselbe Resultat, vorausgesetzt, dass derselbe, wenn der Vorgang ein alternirender ist, an den Endpunkten seines Weges lange genug verbleibt, um bei raschem oder langsamem Wechsel denselben Zustand anzunehmen. So verhält es sich, wie ich fand, thatsächlich auch ohne Anwendung von Commutator und erregendem Magnet; eine einzelne Einführung eines schwachen Magnetpoles bewirkte dieselbe Ablenkung, gleichviel ob erstere rasch oder langsam erfolgte, und bei Anwendung des erregenden Magnets im remanenten Zustande, eines Eisenkernes und des Commutators in seiner Stellung *ab* (2677) brachten vier Hin- und Hergänge *denselben* Effect am Galvanometer hervor, wenn die Geschwindigkeiten sich verhielten wie 1 : 5 oder selbst wie 1 : 10.

2682. Sehr verschieden hiervon ist die Wirkung, wenn anstatt eines Eisenkernes ein Kern aus Kupfer, Silber oder Gold angewendet wird. Was den Kern an und für sich betrifft, so ist kein Grund zu zweifeln, dass bei einem Hin- und Hergang, gleichviel ob derselbe rasch oder langsam vollführt wird, die gleiche Menge Elektricität in Form von Inductionsströmen in ihm in Bewegung gesetzt wird; der obige Versuch (2681) bestätigt thatsächlich diese Schlussfolgerung. Allein die auf die Versuchsspirale ausgeübte Wirkung ist nicht proportional dem ganzen Betrage dieser Ströme, sondern den Maximalintensitäten, bis zu welchen sie ansteigen. Diese Intensität ist gering, wenn die Bewegung des Kernes langsam erfolgt, sie ist gross, wenn der Kern sich rasch bewegt, und dies ist nothwendig so, weil in den beiden verschiedenen Zeiten, die der Weg in Anspruch nimmt, ein und derselbe elektrische Strom zu circuliren hat. Deshalb muss, wie ich es auch thatsächlich fand, der Kern bei rascher Bewegung einen weit grösseren Effect in der Versuchsspirale hervorbringen als bei langsamer Bewegung.

2683. Als der kurze Kupferkern in den Apparat eingestellt war und das Triebwerk mit der mittleren Geschwindigkeit arbeitete, bis vierzig Hin- und Hergänge vollführt waren, wich die Galvanometernadel um 39^0 nach West aus. Wurde das Triebwerk hierauf rascher gedreht, bis gleichfalls vierzig Hin- und Hergänge mit grösserer Geschwindigkeit ausgeführt waren, so machte die Nadel einen Ausschlag von 80^0 und darüber nach West; bei langsamer Drehung endlich, aber derselben Anzahl von Hin- und Hergängen, betrug die westliche Ablenkung der Nadel nur 21^0. Die Grenzgeschwindigkeiten in diesen Versuchen verhielten sich wahrscheinlich wie 1 : 6 zu einander; die Zeit, welche der am längsten dauernde Versuch in Anspruch nahm, war beträchtlich kleiner als die Schwingungsdauer der Nadel (2651), und ich glaube daher, dass sich in diesem Falle die gesammte

Kraft anhäufte. Die Nadel wird in Folge der dämpfenden Wirkung der unter ihr befindlichen Kupferplatte von der Schwingung oder dem Moment ihrer Theile sehr wenig beeinflusst, und abgesehen von ihrer Rückkehr in die Nulllage, bewegt sie sich sehr wenig, sobald die Bewegung des Apparates aufhört. Ein Silberkern ergab dasselbe Resultat.

2684. Diese Wirkungen der Inductionsströme sind den früher beschriebenen Rückstosserscheinungen (2310, 2315, 2338) verwandt, insofern die erregende Ursache und die Wirkungsgesetze die nämlichen sind, und so bestätigen und erhellen diese beiden Erscheinungsreihen sich gegenseitig. Dass die Rückstosserscheinungen von Inductionsströmen herrühren, ist oben gezeigt worden (2327, 2329, 2336, 2339); der einzige Unterschied besteht darin, dass bei diesen die Inductionsströme durch Verstärkung der Kraft eines im festen Abstande von dem afficirten Metall befindlichen Magnets hervorgerufen werden, während bei den vorliegenden Erscheinungen nicht die Stärke des Magnets sich ändert, sondern sein Abstand von dem Metall.

2685. Dieselben Umstände, welche diese Erscheinungen beeinflussen, wirken also auch auf die Rückstosserscheinungen ein. Eine Metallplatte als Ganzes erleidet einen deutlichen Rückstoss, wird sie aber quer zur Bahn der Inductionsströme zertheilt, so wird sie nicht afficirt (2529). An einer ringförmigen Spirale von Kupferdraht, deren Enden nicht mit einander verbunden sind, treten die Erscheinungen nicht auf, aber wohl, wenn sie mit einander verbunden sind (2660).

2686. Im Ganzen sind die Rückstossphänomene zur Prüfung und zum Nachweis dieser Ströme weit geeigneter als die vorliegenden Erscheinungen, besonders wenn man sich die Zertheilung der Masse in Platten zu Nutze macht, wodurch man eine den Kernen in Form cylindrischer Scheiben analoge oder vielmehr dieselbe übertreffende Wirkung erhält (2659, 2661). Blättchen von Platin, Palladium und Blei, in quadratische Stücke von einem halben Zoll Seite zerschnitten oder gefaltet und regelmässig auf einander gepackt, zeigen die Rückstosserscheinungen sehr gut, und sie hängen nur von der Richtung der Blättchen und nicht von deren äusserer Gestalt ab. Auf diese Weise können die Rückstosserscheinungen bei Gold, Silber, Zinn und Kupfer bedeutend verstärkt werden. Antimon zeigt die Erscheinung, wie ich bereits dargethan habe, gut (2514, 2519). Bei diesem sowohl als auch bei Wismuth lassen sich die in ihnen erregten Inductionsströme nachweisen, wenn man sie in Form dünner Plättchen anwendet, eines einzelnen oder mehrerer zusammen, wobei man freilich, um den Einfluss des Diamagnetismus zu vermeiden, etwas aufmerksam sein muss, um die richtigen Momente zur Herstellung und Unterbrechung des Contactes zwischen der Volta'schen Batterie und dem Elektromagnet zu treffen.

2687. Kupfer in Form solcher Platten zertheilt, zeigte die Rückstosserscheinungen in einem so starken Grade, wie ich sie vorher noch nicht beobachtet hatte. Ein Stück Kupferfolie wurde geglüht, bis sie matt

geworden war, und dann zu einem aus zweiundsiebzig Lagen bestehenden kleinen quadratischen Block von einem halben Zoll Seite und einem viertel Zoll Dicke zusammengefaltet. Als dieser Block wie früher (2248) an einem Seidenfaden aufgehängt, und während er einen Winkel von etwa 30^0 mit der äquatorialen Linie (2252) machte, der Elektromagnet erregt wurde, drehte er sich augenblicklich, bis der Winkel 45^0 oder 50^0 betrug, und blieb dann stillstehen. Bei Unterbrechung des den Magnet umkreisenden elektrischen Stromes trat ein sehr heftiger Rückstoss ein, der Block drehte sich wieder zurück, überschritt die äquatoriale Linie und ging weiter, bis er auf der anderen Seite einen Winkel von 50^0 oder 60^0 machte, aber anstatt sich wie früher in dieser Richtung zu drehen (2315), kehrte er zurück, durchschnitt abermals die äquatoriale Linie und erreichte beinahe die axiale Lage, ehe er stillstand. Er schwang als Masse thatsächlich um die äquatoriale Linie hin und her.

2688. Dies ist jedoch eine einfache Folge der früher entwickelten Wirkungsgesetze (2329, 2336). Der Rückstoss rührt von den während der Abnahme des Magnetismus des Elektromagnets in der schwebenden Masse inducirten Strömen her, und der Erfolg dieses Vorganges ist, die Axe dieser Inductionsströme parallel zu der Axe der Kraft in dem magnetischen Felde zu stellen. Wenn folglich die Dauer des Abfalls der magnetischen Kraft und demnach die der hierdurch bedingten Ströme grösser ist als die Zeit, welche der Rückstoss des Kupferblockes bis zur Aequatoriallinie in Anspruch nimmt, so wird jede Bewegung, die in Folge der Trägheit fortdauern würde, durch eine entgegengesetzte Kraft aufgehoben, und der Block wird, wenn diese Kraft stark genug ist, umkehren. Das Leitungsvermögen des Kupfers und dessen Zertheilung in Lamellen begünstigt die Ausbreitung dieser Ströme in ganz besonders hohem Maasse, und eben in Folge dieser Eigenschaft derselben wird die Dauer einer Schwingung so kurz, dass zwei oder sogar drei Schwingungen ausgeführt werden können, ehe der weitere Abfall der Stärke des Elektromagnets aufgehört hat. Der Rolle, welche die *Zeit* beim Ansteigen und Abfallen der Kraft spielt, ist bei vielen früheren Gelegenheiten gedacht worden (2170, 2650), und sie zeigt sich hier sehr schön.

2689. Kehren wir zu der Frage nach einer vermeintlichen Polarität des Wismuths zurück, so darf und muss ich einen von Reich ausgeführten und von Weber[1]) beschriebenen Versuch erwähnen, der, wenn ich ihn recht verstehe, in Folgendem bestand. Ein kräftiger Hufeisenmagnet wird in solcher Lage auf einen Tisch gelegt, dass die die Pole verbindende, nach der einen Seite verlängert gedachte Linie senkrecht ist zum magnetischen

---

[1]) Taylor's Scientific Memoirs, V, p. 480.

Meridian. In dieser Linie und nahe dem Magnet befindet sich eine an einem Coconfaden aufgehängte kleine starke Magnetnadel, und an der anderen Seite derselben der Pol eines Stabmagnets in solcher Lage und Nähe, dass die Wirkung des Hufeisenmagnets genau compensirt ist und die Nadel sich so einstellt, wie wenn beide Magnete nicht vorhanden wären. Wird nun eine Wismuthmasse zwischen die Pole des Hufeisenmagnets gebracht, so wirkt sie, wie es heisst, auf die kleine Magnetnadel, die in einer bestimmten Richtung abgelenkt wird. Hierdurch soll die Polarität des Wismuths unter diesen Umständen erwiesen sein, da es, wenn die Magnete nicht vorhanden sind, keine derartige Wirkung ausübt. Ein Stück Eisen an Stelle des Wismuths bringt die entgegengesetzte Ablenkung der Nadel hervor.

2690. Ich habe diesen Versuch mit grösster Spannung und Sorgfalt wiederholt, ohne jemals die geringste Spur einer Wirkung des Wismuths zu erhalten. Mit Eisen habe ich eine Wirkung auf die Nadel bekommen, aber sie war unter diesen Umständen weit schwächer, als wenn sich das Eisen zur Seite des Hufeisenmagnets und der Nadel oder der Nadel allein befand, und die Magnete hierbei gänzlich entfernt waren. Ich versuchte es auch mit Granat und beliebig anderen schwach magnetischen Substanzen und kann nicht finden, dass diese Anordnung hinsichtlich der Schnelligkeit der Angaben oder der Empfindlichkeit mit einer gewöhnlichen oder astatischen Nadel auch nur vergleichbar ist, und daher verstehe ich nicht, wie sie zum Nachweis der Polarität des Wismuths dienen kann, wenn dies mit den Nadeln nicht gelingt. Möglich, dass bei mir ein Irrthum vorliegt; allein weder ein Eingehen auf die Beschreibung noch auf die Principien der polaren Wirkung half ihn mir entdecken.

2691. Es giebt noch einen mir von Plücker beschriebenen Versuch, welcher auf den ersten Blick einen strengen Beweis für die Polarität des Wismuths zu liefern scheint. Ein horizontal zwischen den Polen des Elektromagnets aufgehängter Stab von Wismuth (oder Phosphor) begiebt sich mit einer gewissen Kraft in die äquatoriale Lage, indem er, wie ich gesagt habe, von Orten stärkerer zu Orten schwächerer Kraft übergeht (2267). Wenn ein Eisenstab von der nämlichen Grösse in der äquatorialen Lage, ein wenig unter der Ebene, in welcher der diamagnetische Stab sich bewegt, befestigt wird, so geht dieser mit grösserer Kraft als vorher in die äquatoriale Lage, und dies soll nun davon herrühren, dass an der Seite, wo das Eisen Nordpolarität hat, der diamagnetische Körper Südpolarität hat, und dass ebenso auf der anderen Seite die Südpolarität des Eisens mit der Nordpolarität des Wismuths zusammenfällt.

2692. Es ist jedoch ganz klar, dass durch die Gegenwart des Eisens die Richtungsintensität der magnetischen Kraftlinien sich genug geändert hat, um die Steigerung der Wirkung völlig ausreichend zu erklären. Denn denken wir uns den Stab eben die axiale Lage verlassend, um in die äquatoriale überzugehen, so befinden sich seine Enden in dem Augenblick, da

er seinen Weg beginnt, an Punkten stärkerer magnetischer Kraft als früher; denn es kann nicht einen Augenblick zweifelhaft sein, dass der Eisenstab mehr Kraft in Richtung von Pol zu Pol des Elektromagnets hinlenkt, als ohne denselben vorhanden wäre. Andererseits werden die Enden des Stabes, wenn er die äquatoriale Lage erreicht hat, unter Einfluss einer viel schwächeren magnetischen Kraft stehen, als welcher sie vorher an *denselben Stellen* ausgesetzt waren; denn der Eisenstab lenkt einen grossen Theil der Kraft zu sich herab, der, wenn ersterer nicht vorhanden wäre, in die von dem Wismuthstabe eingenommene Ebene fallen würde. Wenn also Eisen zugegen ist, so ist die Differenz der Kraftintensität, mit welcher das Diamagneticum bei seiner Drehung um 90^0 angetrieben wird, weit grösser, als wenn es nicht vorhanden ist, und daher vermuthlich die Verstärkung der Erscheinung. Der Vorgang gleicht vielen anderen, die ich bei den magnekrystallischen Erscheinungen erwähnt habe (2487—2497), und trägt, glaube ich, nichts zu dem experimentellen Beweis einer diamagnetischen Polarität bei.

2693. Endlich muss ich sagen, dass ich weder in meinen eigenen Versuchen noch in denen von Weber, Reich und Anderen, die ich wiederholt habe, einen experimentellen Beweis zur Stütze der Hypothese einer diamagnetischen Polarität (2640) zu finden vermag. Ich behaupte nicht, dass eine solche Polarität nicht besteht, und ich würde es für möglich halten, dass Weber mit seinen weit empfindlicheren Apparaten, als der meinige ist, Spuren davon erhalten habe, müsste er alsdann nicht auch sicherlich die weit stärkeren Wirkungen des Kupfers, Goldes, Silbers und der besser leitenden Diamagnetica bekommen haben. Wenn sich zeigen sollte, dass Wismuth eine Wirkung giebt, so muss sie mittelst der Stellung des Commutators, der Zertheilung der Masse durch Pulverisirung, des Zeiteinflusses u. s. w. controlirt und danach unterschieden werden. Es scheint mir auch, dass, wie die magnetische Polarität des Eisens oder Nickels in sehr kleiner Menge und unter ungünstigen Bedingungen weit leichter durch ihre Wirkung auf eine astatische Nadel oder die Einstellung zwischen den Polen eines kräftigen Hufeisenmagnets, als durch eine Anordnung wie die meinige oder die von Weber oder Reich erkannt wird, ebenso auch die diamagnetische Polarität sich leichter auf diesem Wege zu erkennen geben müsste, dass aber bisher noch keine Angabe dieser Polarität die Stärke oder den Werth erreicht hat, wie die bereits von Brugmans und mir selbst erhaltenen.

2694. Demnach bleiben die Wirkungen, deren Repräsentanten oder Typen das Eisen, das Kupfer und das Wismuth bildet, einstweilen von einander unterschieden; ihre Beziehungen sind uns bisher nur zum Theil bekannt. Es kann nicht zweifelhaft sein, dass man einst ein umfassenderes und einfacheres, alle diese Vorgänge einschliessendes Wirkungsgesetz auffinden wird als wir bisher kennen; für mich war die Schönheit der Anregung Weber's der Hauptanlass zu der Bemühung, sie zu verwirklichen.

2695. Wiewohl ich aus den oben angegebenen Gründen (2693) wenig Hoffnung hatte, brauchbare Resultate zu erlangen, so wollte ich doch nicht unterlassen, gewisse magnekrystallische Kerne der Wirkung des Apparates zu unterwerfen. Ein Kern bestand aus einer grossen Gruppe symmetrisch gelagerter Wismuthkrystalle (2457), ein anderer war ein sehr grosser Krystall von rothem Blutlaugensalz, ein dritter ein Kalkspathkrystall und ein vierter und fünfter bestand aus grossen Eisenvitriolkrystallen. Aus ihnen wurden Cylinder gebildet, von denen der erste und vierte die Magnekrystallaxe (2479), der zweite, dritte und fünfte die äquatoriale Kraftrichtung (2594, 2595, 2546) parallel zur Cylinderaxe hatten. Nur der vierte und fünfte liessen eine Wirkung am Galvanometer erkennen, deren Resultate einander gleich und von ihrer gewöhnlichen magnetischen Eigenschaft bedingt waren.

2696. Einige der von mir gebrauchten Ausdrücke könnten den Schein erwecken, als meinte ich, dass bei Anwendung von Kupfer- und anderen Kernen zuerst durch den erregenden Magnet Ströme in ihnen inducirt würden, und dass diese die Ströme induciren, welche in der Versuchsspirale zur Beobachtung gelangen. Ob die Kerne direct auf die Versuchsspirale wirken, oder indirect durch ihren Einfluss auf den erregenden Magnet, ist eine sehr interessante Frage, und wie sehr ich auch wünschte, solche Ausdrücke zu wählen, welche dieser Frage nicht präjudicirten, so ist es doch schwierig, sie zu finden. Ich halte es für wahrscheinlich, dass die Kerne indirect auf die Spirale wirken und dass sie eine unmittelbare Wirkung nur auf den erregenden Magnet ausüben, der ihre Kraft, gleichviel ob sie aus magnetischen oder diamagnetischen Metallen bestehen, dauernd oder vorübergehend steigert und zu sich hin lenkt. Ehe der Kern sich dem Magnet nähert, steht dieser in inniger Beziehung zur Versuchsspirale, die in dem von seinem Pole herrührenden starken magnetischen Felde liegt. Besteht der Kern aus Eisen, so bewirkt er bei seiner Annäherung an den Magnet eine starke Convergenz und Concentration der magnetischen Kraftlinien auf sich selbst, und diese können, indem sie, convergirend, durch die Spirale quer zu deren Windungen gehen, die Ströme in ihr erregen, welche zur Beobachtung gelangen (2653, 2668). Entfernt sich das Eisen wieder, so divergiren diese Kraftlinien und erregen, indem sie abermals den Draht der Spirale in einer der früheren entgegengesetzten Richtung kreuzen, einen entgegengesetzt gerichteten Strom. Was den Einfluss des Eisenkernes betrifft, so scheint es nicht nothwendig zu sein, eine directe Wirkung desselben auf die Spirale oder sonst eine Wirkung ausser der, welche er auf die Kraftlinien des Magnets ausübt, anzunehmen. In diesem Falle wäre seine Wirkung auf die Spirale eine indirecte.

2697. Auf Grund einer gleichen Betrachtung lässt sich nun auch die Wirkung eines in die Spirale eintretenden Kupferkernes auf sie als eine indirecte auffassen. Denn die Ströme in ihm werden durch den directen

Einfluss des Magnets erregt und müssen eine äquivalente Reaction auf diesen ausüben. Dies thun sie und bewirken vermöge ihrer Richtung und ihres bekannten Einflusses eine Divergenz der Kraftlinien des Magnets. Nimmt die Geschwindigkeit des bewegten Kernes ab, oder kommt er zur Ruhe, so verschwinden die Ströme in ihm, und dann werden die Kraftlinien convergiren, und diese Divergenz und Convergenz oder der Durchgang in zwei Richtungen quer zum Draht der Versuchsspirale reicht hin, um die beiden Ströme hervorzurufen, welche beim Vorrücken des Kernes gegen den erregenden Magnet erhalten werden (2671, 2673). Beim Rückgange des Kernes wird eine entsprechende Wirkung in der entgegengesetzten Richtung hervorgebracht.

2698. Von der Vorstellung ausgehend, dass die Wirkungen des Kernes auf die Spirale nicht dieser, sondern mehr directer Art seien, schaltete ich während der Dauer des Versuches verschiedene Substanzen zwischen den Kern und die Spirale ein. In die Versuchsspirale wurde ein dicker kupferner Hohlcylinder von 2,2 Zoll Länge, 0,7 Zoll äusserem und 0,1 Zoll innerem Durchmesser, also 0,3 Zoll Wanddicke geschoben und ein Eisendrahtkern (2668) in den Apparat eingestellt. Wie man nun auch den Versuch ausführte, die Art und Grösse der Wirkung war dieselbe, wie wenn das Kupfer nicht vorhanden war und Glas oder Luft sich an seiner Stelle befand. Dieselben Resultate erhielt man, wenn der erregende Magnet entfernt und der Drahtkern zu einem Magnet gemacht wurde.

2699. Ich brachte dann eine andere cylindrische Kupferhülle von 2,5 Zoll Länge, 1 Zoll äusserem Durchmesser und $^1/_8$ Zoll Dicke in die Versuchsspirale und wandte $^5/_8$ Zoll dicke Kerne von Silber und Kupfer wie früher bei der besten Stellung des Commutators (2675) an; allein die Wirkungen waren absolut dieselben mit und ohne Kupfer, sowie mit und ohne Glas (2698).

2700. Es unterliegt keinem Zweifel, dass durch die Kupferhüllen im Innern der Spirale während der Dauer des Versuches Ströme kreisten und dass in Luft oder Glas an deren Stelle solche Ströme nicht existirten. Man wird auch mit allem Grunde zugeben, dass die oben (2697) angenommene Divergenz und Convergenz der magnetischen Kraftlinien, wenn man die Wirkung der Kerne als eine indirecte auffasst, ausreicht, dergleichen Ströme in jenen zu erklären. Verwirft man diese Annahme, so müssen, wie mir scheint, sämmtliche der vorhandenen Körper, der Magnet, die Spirale, der Kern, die Kupferhülle oder an deren Stelle die Luft oder das Glas sich in einem Spannungszustande befinden, wobei jeder Theil auf den anderen wirkt, also in dem Zustande, den ich mir sonst manchmal als den elektrotonischen Zustand vorstellte (1729).

2701. Das Vorrücken des Kupfers bewirkt, dass die magnetischen Kraftlinien divergiren, oder es treibt sie, so zu sagen, vor sich her (2697). Ohne Zweifel findet eine Reaction auf das vorrückende Kupfer statt, und

es entstehen Ströme in ihm von solcher Richtung, dass, wenn die Vorwärtsbewegung fortdauert, auch die Divergenz fortdauert. Es scheint jedoch nicht logisch, zu sagen, dass die Ströme, welche die Kraftlinien in dem Kupfer hervorrufen, die Ursache der Divergenz der Kraftlinien seien. Es scheint mir vielmehr, dass die Kraftlinien durch das vorrückende Kupfer (oder bei einer anderen Versuchsform durch einen quer zu den Kraftlinien sich bewegenden geschlossenen Draht), so zu sagen divergent gemacht oder nach auswärts gebogen werden, und dass die Reaction der Kraftlinien auf die Kräfte in den Kupfertheilchen dieselben in einen Strom verwandeln, durch welchen der Widerstand überwunden und aufgehoben wird, und die Kraftlinie an ihren Ort zurückkehrt. Mit dem Ausdruck *Kraftlinie* verbinde ich keinen anderen Sinn, als ich früher angegeben habe (2149).

Royal Institution,
14. Dec. 1849.

VIERUNDZWANZIGSTE REIHE.[1])

§ 30. Ueber die mögliche Beziehung zwischen Schwerkraft und Elektricität.

Eingegangen am 1. August, — Gelesen am 28. November 1850.

2702. Meine lange gehegte feste Ueberzeugung, dass sämmtliche Naturkräfte sich gegenseitig bedingen und einen gemeinsamen Ursprung haben, oder vielmehr verschiedene Manifestationen einer einzigen Fundamentalkraft seien (2146), liess mich oft an die Möglichkeit denken, auf dem Wege des Versuches einen Zusammenhang zwischen Schwere und Elektricität aufzufinden und so auch erstere in die Gruppe, die Kette einzureihen, welche Magnetismus, chemische Kraft und Wärme einschliessend, ein Band gemeinsamer Beziehungen um so viele und so mannigfaltige Kraftäusserungen schlingt. Obwohl die in dieser Absicht unternommenen Untersuchungen mir nur negative Resultate geliefert haben, so glaube ich doch, dass eine kurze Darlegung des Gegenstandes, wie ich ihn mir dachte, und der Versuchsergebnisse, welche anfangs sehr ermuthigend waren und sich erst durch sehr sorgfältiges Suchen nach Fehlerquellen auf ihren wahren Werth zurückführen liessen, nützlich sein dürfte, sowohl als Aufstellung des Problems im Allgemeinen, als auch um Andere zum Nachdenken darüber anzuregen.

2703. Indem ich nach einem Princip suchte, auf das sich eine experimentelle Forschung nach der Identität oder Beziehung der beiden Kräfte gründen liesse, schien es mir, dass, wenn eine solche Beziehung bestände, in der Schwerkraft etwas liegen müsste, was der dualen oder antithetischen Natur der Kraftformen bei der Elektricität und dem Magnetismus entspräche. Es schien mir möglich, dass die Annäherung gegen einander gravitirender Körper, wobei sie also der Kraft folgen, einerseits, und die Umkehrung der Kraft oder die Entfernung der Körper andererseits die Correspondenzpunkte bilden könnten; Ruhe (im Vergleich zur Bewegung) wäre dann der

---

[1]) Philosophical Transactions, 1851, p. 1. Baker-Vorlesung.

neutrale Zustand. Die schliessliche Unveränderlichkeit der Schwerkraft schien einer solchen Vorstellung nicht entgegen zu sein; denn die wirkenden Körper würden im Ruhezustande stets dieselbe Beziehung zu einander haben, und nur während der Bewegung hin und her würde man irgend welche mit der Elektricität verwandte Resultate zu erwarten haben. Resultate dieser Art würden, wenn sie überhaupt möglich wären, nur ausserordentlich klein sein, aber *wenn sie möglich* sind, d. h. wirklich bestehen, so würden keine Worte die Wichtigkeit der so festgestellten Beziehung übertreiben können.

2704. Der Gedanke, auf den die Versuche sich gründeten, war der, dass, wenn zwei Körper sich vermöge der Schwerkraft einander näherten, entweder in ihnen oder in den umgebenden Substanzen elektrische Ströme in der einen Richtung, und wenn sie durch eine äussere Kraft der Schwere entgegen bewegt würden, Ströme in der entgegengesetzten Richtung entstehen könnten; dass ferner diese Ströme in Beziehung ständen zur Richtung des Weges, auf dem jene sich näherten und entfernten, und nicht zum Raum im Allgemeinen, so dass die Ströme zweier sich nähernder Körper in Bezug auf den Raum einander entgegengesetzt, aber in Bezug auf die Bewegung längs ihrer Verbindungslinie gleichgerichtet wären. Es wird nicht nöthig sein, weiter auf die hieraus sich ergebenden Annahmen einzugehen, oder die Wirkung erzwungener, mit der Richtung der Gravitation der Erde entweder zusammenfallender oder sie durchkreuzender Bewegungen oder manche anderen Punkte zu betrachten, sondern es genügt, wenn ich sage, dass, da nur eine ausserordentlich kleine Wirkung erwartet wurde, ich keine Hoffnung hatte, anders als mittelst der Schwerkraft der Erde einen Erfolg zu erzielen. Die Erde bildete daher bei den Versuchen den einen von den beiden Körpern.

2705. Zunächst wurde der Körper, den man fallen lassen konnte, mit einer Drahtspirale umgeben und zugesehen, ob er eine Wirkung beim Fallen äussere. Der Körper kann entweder mit der Spirale oder durch dieselbe fallen. Ein 350 Fuss langer besponnener Kupferdraht wurde zu einer hohlen cylindrischen Spirale von 4 Zoll Länge, 1 Zoll innerem und 2 Zoll äusserem Durchmesser aufgewickelt und diese an einer Schnur befestigt, die über eine leichte Rolle ging, so dass sie 36 Fuss hoch gehoben und dann mit beschleunigter Geschwindigkeit auf ein sehr weiches Kissen fallen gelassen werden konnte, wobei ihre Axe stets vertical blieb. Mit ihren beiden Enden wurden lange, besponnene Drähte verknüpft, die über einander gedreht mit einem sehr empfindlichen Galvanometer verbunden wurden, das 50 Fuss von der Falllinie und im Niveau der Mitte derselben aufgestellt war. Von der Genauigkeit der Verbindungen und der Richtung der Einstellung der Nadel überzeugte man sich durch Einschaltung einer schwachen thermoelektrischen Combination in den Kreis. Eine solche Spirale kann weder beim Heben noch beim Fallen eine Ablenkung am Galvanometer hervorbringen, die von einem durch den Erdmagnetismus erregten Strom

herrührte; denn da sie während des Fallens sich selbst parallel bleibt, so werden die Linien gleicher magnetischer Kraft, welche, der Inclinationsrichtung parallel, von den Drahtwindungen der fallenden Spirale durchschnitten werden, auf beiden Seiten der Spirale mit gleicher Geschwindigkeit geschnitten und daher kann keine magnetoelektrische Induction stattfinden. Wirklich übte auch die Spirale weder beim Heben noch beim Fallen eine Spur einer Wirkung auf das Galvanometer aus, die Verbindung mit dem Galvanometer mochte die ganze Zeit unterhalten oder gerade vor der Verzögerung oder dem Aufhören der Bewegung unterbrochen, oder das Heben und Fallenlassen isochron mit den Schwingungen der Galvanometernadel bewirkt werden. In dieser Versuchsmethode, bei welcher freilich keine Wirkung der Schwerkraft in der Spirale auftrat, lag also keine Fehlerquelle.

2706. Nun wurde ein massiver Kupfercylinder von $^3/_4$ Zoll Durchmesser und 7 Zoll Länge in die Spirale gesteckt und durch Umwickelung mit einem Tuch sorgfältig festgelegt, so dass er sich nicht bewegen konnte; dieses System liess man nun wie vorher (2705) fallen. Es gab sehr kleine, aber merkwürdig regelmässige Anzeichen eines Stromes im Galvanometer, und die Wahrscheinlichkeit, dass diese zur Schwerkraft in Beziehung ständen, war um so grösser, als sich beim Heben der Spirale oder des Kernes ähnliche Anzeichen von entgegengesetzten Strömen zeigten. Es dauerte einige Zeit, ehe ich im Stande war, diese Ströme auf ihre wahre Ursache zurückzuführen, aber schliesslich entdeckte ich dieselbe in der Wirkung eines Theiles des die Spirale mit dem Galvanometer verbindenden Drahtes. Die beiden Drähte waren regelmässig zusammengedreht worden, aber durch das oftmalige Fallen hatte sich eine Strecke nahe der Mitte zu einer Art Schleife aufgedreht, so dass die Drähte, anstatt wie die Stränge eines Seiles dicht zusammengedreht zu sein, auf einer Strecke von 3 Fuss von einander losgelöst waren, wie getrennte Stränge. Beim Fallen öffnete sich diese Schleife mehr oder weniger, aber immer in derselben Weise, und die Folge war, dass der Theil derselben, welcher in querer Richtung ging und am weitesten vom Galvanometer entfernt war, einen grösseren Raum durchlief als der entsprechende, dem Galvanometer nähere Theil. Hätten sie gleichen Raum durchlaufen, so würde die Wirkung der magnetischen Kraftlinien der Erde auf sie gleich gewesen sein und es wäre demnach keine Wirkung auf das Galvanometer vorhanden gewesen; so aber wurden Ströme von entgegengesetzter Richtung zwar, aber von ungleicher Stärke erregt und es kam ein der Differenz derselben gleicher Strom zum Vorschein. Ein derartiger Fall ist in meinen ältesten Untersuchungen über magnetoelektrische Induction der Erde beschrieben worden (171). Offenbar muss der Strom, wenn die Spirale und die Drähte gehoben werden, die umgekehrte Richtung haben, also wie es oben beschrieben worden ist. Somit lieferte diese Anwendung eines Kupferkernes in der Spirale keinen positiven Beweis zu Gunsten der ursprünglichen Annahme.

2707. Ich hatte das Kupfer gewählt, weil es ein schwerer Körper und ein vortrefflicher Elektricitätsleiter ist. An seiner Stelle wandte ich nun einen gleich grossen Cylinder von Wismuth an, als einer Substanz, die ausserordentlich diamagnetisch und unter den Metallen zu den schlecht leitenden gehört. Es traten unsichere Anzeichen auf; allein bei genauer Achtsamkeit, erst auf diesen, dann auf jenen Punkt, liessen sich alle diese Angaben zum Verschwinden bringen, so dass das Heben oder Fallen des Wismuths keinen Effect auf das Galvanometer hatte.

2708. Als ein magnetisches Metall wurde *Eisen* in Form eines Cylinders angewandt, allein, wenn man eine Bewegung desselben relativ zur Spirale vollkommen verhütete, so war es ebenso unwirksam wie Kupfer und Wismuth (2706, 2707).

2709. Als Nichtleiter wurden Glas- und Schellackcylinder angewandt, jedoch ohne Erfolg.

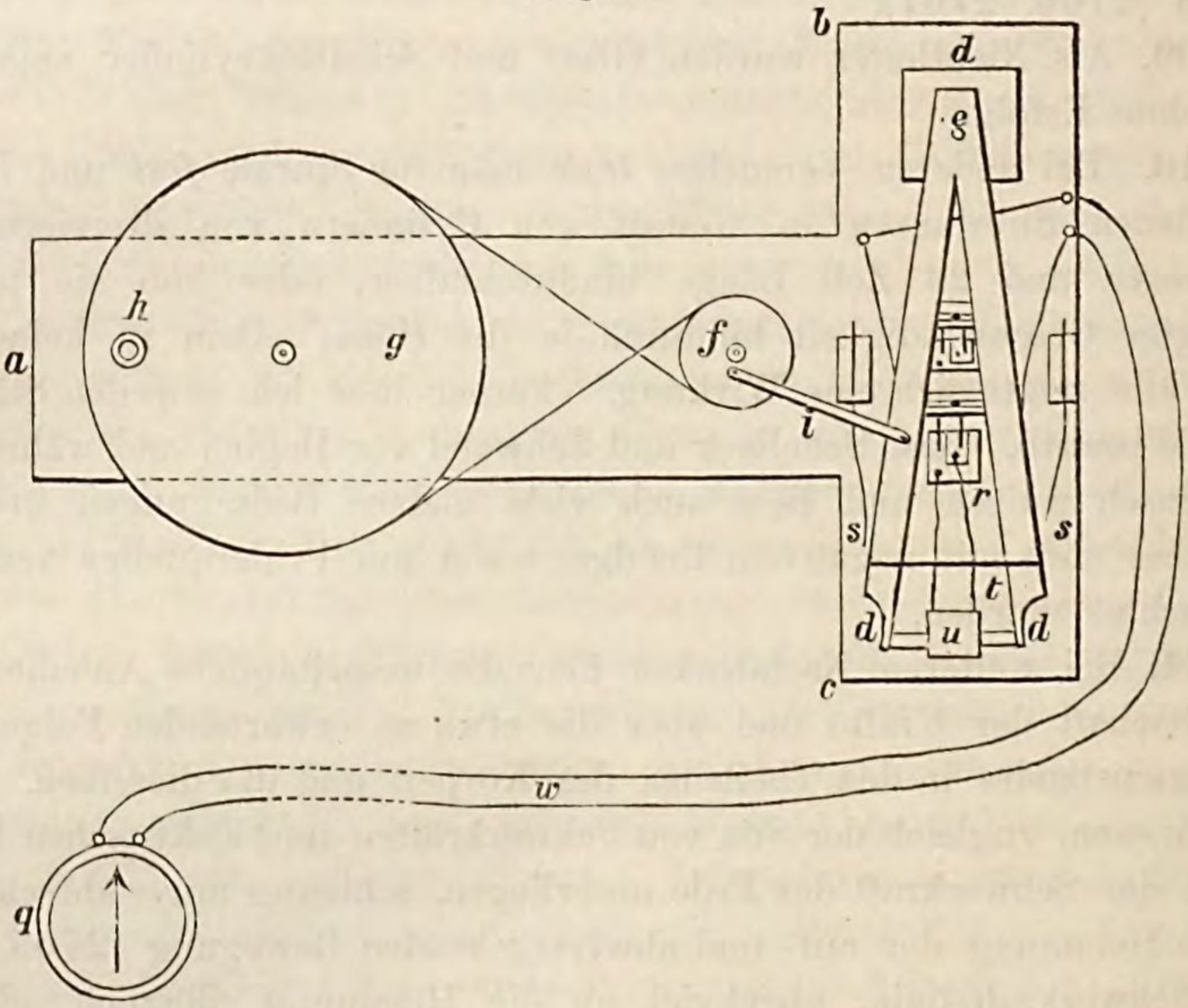
2710. Bei anderen Versuchen *legte* man die Spirale *fest* und liess die verschiedenen Substanzen in Gestalt von Cylindern von dreiviertel Zoll Durchmesser und 24 Zoll Länge hindurchfallen, oder hob sie mit beschleunigter Geschwindigkeit hindurch in die Höhe; allein in keinem der beiden Fälle zeigte sich eine Wirkung. Ferner liess ich zuweilen Stäbe von Kupfer, Wismuth, Glas, Schellack und Schwefel vor Beginn und während des Fallens rasch rotiren und liess auch viele andere Bedingungen in's Spiel treten, aber stets mit negativem Erfolge, wenn nur Fehlerquellen vermieden oder beachtet wurden.

2711. Bei weiterem Nachdenken über die ursprüngliche Annahme einer Verwandtschaft der Kräfte und über die etwa zu erwartenden Folgen eines Spannungszustandes in den Theilchen des Körpers und um dieselben, welche, wie wir wissen, zugleich der Sitz von Schwerkräften und elektrischen Kräften sind und der Schwerkraft der Erde unterliegen, schien es mir wahrscheinlich, dass eine Hemmung der auf- und abwärtsgehenden Bewegung (2703, 2704) in der Schwerkraftslinie, gleichviel ob die Hemmung plötzlich oder allmählich wäre, entgegengesetzte Wirkungen wie das Einsetzen der Bewegung haben würde; dass ferner eine Herabbewegung mit grösserer Geschwindigkeit, als die Schwere ertheilen könnte, eine stärkere Wirkung als die Schwere für sich, und dass ebenso eine entsprechende Beschleunigung der Hinaufbewegung eine in demselben Verhältniss stärkere Wirkung geben würde. Hierzu würde eine Maschine, die eine rasch alternirende Herauf- und Herabbewegung bewirken könnte, sehr gute Dienste leisten, um in einem engen Raume und in mässiger Zeit viele kleine Inductionswirkungen hervorzubringen; denn alsdann könnten die beschleunigten und verzögerten Phasen jeder halben Schwingung mittelst geeigneter Commutatoren getrennt und wieder zu einem einzigen Strome vereinigt werden. Diesen Strom würde man durch das Galvanometer stets in der Richtung senden können, nach welcher die Nadel schwingt, und diese Alternationen würde man fort-

setzen können, bis der Effect, wenn überhaupt ein solcher von der vorausgesetzten Ursache erzeugt würde, merklich geworden wäre.

2712. Das zu diesem Zwecke angewandte Triebwerk ist dasselbe, welches ich in der vorhergehenden Reihe dieser Untersuchungen beschrieben habe (2643); der Elektromagnet, der Versuchskern und der Stab waren fortgenommen; *abc* ist ein Holzgestell, *ddd* ein hölzerner Hebel mit der Axe *e*; *f* das Kurbelrad und *g* das grosse Rad mit seiner Kurbel *h*; *i* die Kurbelrad und Hebel verbindende Stange; *q* das Galvanometer; *r* der Commutator, *w* Verbindungsdrähte; *ss* Federn von Messing oder Kupfer; *t* ein die beiden Arme des Hebels, um ihm Festigkeit zu geben, verbindender Kupferstab; *u* die

Fig. 9.



hohle Spirale, die nach Belieben festgelegt oder beweglich gemacht werden kann. Der Apparat ist in $^1/_{15}$ der natürlichen Grösse gezeichnet und konnte, da das Gestell beweglich war, in jeder Lage aufgestellt werden. Der seiner Wirkung unterworfene Cylinder von Metall oder anderer Substanz war $5^1/_2$ Zoll lang und dreiviertel Zoll im Durchmesser und wurde zwischen den Enden *dd* der Hebelarme festgehalten. Die Weite der hin und her gehenden Bewegung betrug 3 Zoll. Die hohle cylindrische Spirale *u*, die $2^1/_2$ Zoll lang war und einen solchen inneren Durchmesser hatte, dass die Cylinder ihre raschen Hin- und Hergänge im Innern derselben ohne Gefahr, an den Seiten anzustossen, vollführen konnten, enthielt 516 Fuss besponnenen Kupferdraht. Dieselbe konnte entweder unverrückbar festgelegt oder mit dem zu untersuchenden Cylinder fest verbunden werden, so dass sie sich mit diesem bewegen musste. Von dieser Spirale gingen die Drähte

zum Commutator und von hier zum Galvanometer. Das Moment des Triebwerkes wurde theilweise von den Federn *ss* (2648) aufgefangen und in die entgegengesetzte Bewegung verwandelt; allein es blieb noch so viel davon unverwandt übrig, dass, um dem System einen beständigen Gang zu geben, grosse Sorgfalt auf die Befestigung verwandt werden musste, da sonst leicht Störungen an dem Cylinder und der Spirale eintraten, die häufig elektrische Ströme verursachten.

2713. Durch die Anwendung von Cylindern aus Eisen, Kupfer und anderen Substanzen in diesem Apparat konnten auf verschiedene Weise elektrische Ströme entstehen. So konnte Eisen vermöge seines unter dem Einflusse der Erde erlangten polaren Zustandes elektrische Ströme erregen, die sich jedoch leicht entdecken und durch passend angebrachte Magnete, welche die durch das Eisen gehenden magnetischen Kraftlinien neutralisiren oder umkehren mussten, eliminiren liessen. In Kupfercylindern und guten Leitern überhaupt (2663, 2684) konnten Ströme durch die Kraft der Erde inducirt werden, die aber, da die Linien der Schwerkraft und der magnetischen Kraft der Erde gegen einander geneigt sind, durch die Lage eliminirt werden konnten, und es schien mir keine Fehlerquelle zu geben, die nicht eliminirt werden konnte. Ich will auf die Darlegung, wie ich allmählich diese Vorsichtsmassregeln zu gebrauchen lernte, keine Zeit verwenden, sondern zu den Hauptresultaten übergehen.

2714. Der Kupfercylinder (2712) wurde in den Apparat eingestellt, die ihn umgebende Spirale unverrückbar festgelegt und das Ganze in solche Lage gebracht, dass der Cylinder vertical war und sich im Innern der Spirale parallel zu der Schwerkraftslinie auf und ab bewegte. Wie rasch aber auch das Triebwerk arbeitete, oder welche Stellung auch der Commutator hatte, am Galvanometer zeigte sich keine Wirkung. Mit demselben negativen Erfolge wurden Cylinder von Wismuth, Glas, Schwefel, Guttapercha u. s. w. angewandt.

2715. Als die Spirale an dem Kupfercylinder befestigt wurde, so dass sie sich mit ihm zugleich bewegen musste, traten sehr regelmässige und verhältnissmässig starke Wirkungen auf; ich erkannte jedoch bald, dass sie eine andere Ursache hatten als die Schwerkraft, und zwar folgende. Die Spirale war an einem Ende eines Hebels, 22 Zoll von dessen Axe entfernt, befestigt, und da sie einen Durchmesser von 2 Zoll hatte, so waren ihre Drähte an der einen Seite nur 21 Zoll von dieser Axe entfernt, während an der anderen Seite ihr Abstand von derselben 23 Zoll betrug. Diese Theile vollführten also ihre Schwingungen mit Geschwindigkeiten und durch Räume, die sich wie 21 : 23 verhielten. Wenn daher diese Bewegungen *quer* zu den erdmagnetischen Kraftlinien erfolgten, so suchten sich in diesen verschiedenen Theilen elektrische Ströme auszubilden, deren Menge oder Stärke jenen Zahlen proportional war; die dieser Differenz entsprechenden Ströme wurden beständig von dem Commutator aufgenommen

und am Galvanometer zum Vorschein gebracht. Dies liess sich dadurch erkennen, dass man das Triebwerk so aufstellte, dass, während die Schwingungsebene vertical blieb, die Spirale sich gerade unter dem Bewegungsmittelpunkte befand, ihre Mittellinie also nicht vertical, sondern horizontal war. Nunmehr schnitten die Windungen der Drahtrolle die magnetischen Kraftlinien in der günstigsten Weise, und die Folge war, dass die Commutatoren überflüssig wurden, da nun eine einzige Bewegung der Spirale in einer Richtung genügte, um die inducirten magnetoelektrischen Ströme am Galvanometer sichtbar zu machen. Wurde dagegen die Ebene der Bewegung horizontal gelegt, so liess sich durch keine Bewegung ein Strom erregen; denn obwohl die Spirale horizontal lag, und nicht merklich mehr als vorher, so bewegten sich doch jetzt die (oberen und unteren) Theile der Windungen, welche die magnetischen Kraftlinien schnitten, mit genau gleicher Geschwindigkeit, und es gab daher keine Differentialwirkung.

2716. Das frühere geringe Resultat (2715) rührte also wahrscheinlich von einem Vorgang dieser Art her, und dies bestätigte sich, als man das Triebwerk so stellte, dass die Axe des Kupfercylinders und der Spirale in dem mittleren Theil ihrer Bewegung der Inclinationsrichtung parallel war; in diesem Falle zeigte sich keine Wirkung. Ebensowenig brachten andere Körper in derselben Lage eine Wirkung hervor.

2717. Hiermit enden für jetzt meine Versuche; ihre Resultate sind negativ. Allein wiewohl sie keinen Beweis für das Dasein einer Beziehung zwischen Gravitation und Elektricität liefern, so haben sie doch meinen festen Glauben daran nicht zu erschüttern vermocht.

Royal Institution,
19. Juli 1850.

FÜNFUNDZWANZIGSTE REIHE.[1])

§ 31. Ueber den magnetischen und diamagnetischen Zustand der Körper. I. Nicht-Ausdehnung gasförmiger Körper durch magnetische Kräfte. II. Magnetische Differentialwirkung. III. Magnetische Charaktere des Sauerstoffs, Stickstoffs und des Raumes.

Eingegangen am 15. August, — Gelesen am 28. November 1850.

I. Nicht-Ausdehnung gasförmiger Körper durch magnetische Kräfte.

2718. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass die magnetische, die diamagnetische und die magneoptische oder magnekrystallische Kraft sich uns bei vollkommener Kenntniss derselben als eine einheitliche Kraftform und dem Wesen nach identisch erweisen werden. Daher hat die Aufhellung jeder einzelnen ihrer Aeusserungsweisen ein grosses Interesse; denn wie sehr sie sich auch in speciellen Punkten unterscheiden, so ist doch ein Fortschritt in der Aufhellung oder dem Verständniss der einen derselben kaum möglich ohne einen entsprechenden Fortschritt in der Erkenntniss der anderen. Angeregt durch diese Ueberzeugung, habe ich mich, wie Plücker, Weber, Reich und Andere, bemüht, die Wirkungsweise diamagnetischer und magnekrystallischer Körper mit einem gewissen Grade von Genauigkeit festzustellen, und die letzte Untersuchung (2640) und Bemühung, die Vorstellung einer der in einem Magnet oder im Eisen entgegengesetzten Polarität des Wismuths und der diamagnetischen Körper überhaupt zu begründen, war eine der Folgen dieser Ueberzeugung und dieses Strebens.

2719. Nachdem es mir jedoch nicht hat gelingen wollen, das Dasein einer solchen Antipolarität festzustellen, und dagegen gezeigt zu haben glaube, dass die hieraus abgeleiteten Erscheinungen in Wirklichkeit von anderen Bedingungen und Ursachen abhängen, sah ich mich bewogen, um etwas Genaueres über die Natur diamagnetischer Körper zu ermitteln, eine andere Idee zu prüfen, die mir im Verfolg der Untersuchung der magnetischen

---

[1]) Philosophical Transactions, 1851, p. 7.

und diamagnetischen Erscheinungen der gasförmigen Substanzen aufgestiegen war. Diese Idee und die daraus bei ihrer experimentellen Prüfung hervorgegangenen Resultate sollen Gegenstand der vorliegenden Abhandlung sein.

2720. Bancalari hat zuerst gezeigt, dass die Flamme diamagnetisch ist.[1]) Wie ich dann nachwies, rührt die Wirkung hauptsächlich von dem heissen Zustande der gasigen Theile der Flamme her[2]), allein ausserdem schienen die Gase bei gewöhnlicher Temperatur diamagnetische Erscheinungen zu zeigen und hierin sich sehr verschieden zu verhalten[3]), so dass z. B., atmosphärische Luft zur Norm genommen, Stickstoff und viele andere Gase sich im Vergleich zu ihr stark diamagnetisch erwiesen, während Sauerstoff die Erscheinungen eines magnetischen Körpers darbot. Denn *jene* werden von dem Orte stärkster Kraft im magnetischen Felde fortgestossen, während dieser dahin gezogen wird.

2721. Erinnert man sich des früher aufgestellten Gesetzes der Wirkung magnetischer und diamagnetischer Körper (2267, 2418), dass nämlich die ersteren von Punkten schwächerer zu Punkten stärkerer, die letzteren von Punkten stärkerer zu Punkten schwächerer magnetischer Kraft zu gehen suchen, und wendet man dieses Gesetz auf gasförmige Körper an, die zugleich sehr elastisch sind und ihr Volumen unter dem Einfluss sehr kleiner Kräfte ändern, so würde daraus zu folgen scheinen, dass, wenn die Theilchen eines diamagnetischen Gases unter dem directen und unmittelbaren Einfluss der magnetischen Kraft von Orten stärkerer zu Orten schwächerer Kraft zu gehen suchten, ein solches Gas im magnetischen Felde sich ausdehnen müsse. Denn der Kraftbetrag, mit welchem die Theilchen von der Axe des magnetischen Feldes zurückzuweichen streben, würde sich der Expansivkraft, mit welcher sie vorher dem Druck der Atmosphäre widerstanden, addiren; dieser Druck würde also zum Theil durch eine neue Kraft aufgewogen werden und Ausdehnung wäre die nothwendige Folge davon. Ein magnetisches Gas dagegen (wie beispielsweise Sauerstoff) würde durch die auf seine Theilchen direct und unmittelbar ausgeübte magnetische Kraft *gegen* die Axe des Magnetfeldes *hin* gedrängt werden; diese Kraft würde also in demselben Sinne wirken wie der Druck der Atmosphäre, folglich sich zu ihm summiren und somit Zusammenziehung und Volumenverminderung des Gases bewirken.

2722. Wenn sich diese Voraussetzungen als zutreffend erwiesen, so würden wir zur Kenntniss des wahren Nullpunktes gelangen können (2416, 2432, 2440)[4]), nicht allein für Gase, sondern für alle Körper, und wir würden in den Stand gesetzt sein, zu sagen, ob ein Gas wie Sauerstoff

---

[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, pp. 401, 421.
[2]) Ibid. pp. 404, 406. [Siehe weiter unten.]
[3]) Ibid. p. 409.
[4]) Ibid. p. 420.

magnetisch oder diamagnetisch sei, und die einzelnen Gase und andere Substanzen in eine Reihe zu ordnen. Wiewohl nun anfangs meine Versuche, ob das Volumen der Luft im magnetischen Felde eine Aenderung erleide, ein negatives Resultat ergeben haben, so hat doch Plücker's Angabe, dass er ein positives Resultat erhalten habe[1]), und die grosse Erweiterung, die unsere Kenntniss von den diamagnetischen Beziehungen der Gase und insbesondere von dem zwischen ihnen bestehenden grossen Unterschiede seitdem erlangt hat, mich ermuthigt, hierin weiter zu gehen.

2723. Ich bemühte mich zunächst zu ermitteln, ob die den Magnetpol unmittelbar berührende Schicht der Luft (oder sonst eines Gases) eine durch Ausdehnung oder Zusammenziehung veranlasste Aenderung erleide, welche sie befähigte, auf die Bahn eines Lichtstrahles einzuwirken, und so selbst sichtbar würde. Vor die helle Flamme einer Lampe in einem sonst dunklen Raume wurde ein Metallschirm mit einem Nadelloch aufgestellt, und so ein künstlicher Stern oder ein kleiner wohlbegrenzter leuchtender Gegenstand gebildet. Sechsundvierzig Fuss davon entfernt stand der grosse Hufeisenmagnet (2247), der durch zwanzig Grove'sche Plattenpaare erregt werden sollte; die Pole lagen in der Richtung des von der Lampe kommenden Lichtstrahles, so dass dieser erst auf einer Strecke von 4 Zoll dicht über die Oberfläche des ersten Pols hinweg, dann 6 Zoll durch Luft und hierauf 4 Zoll dicht über die Oberfläche des zweiten Pols hinweg ging. Ein James South gehöriges, sehr feines Fernrohr von 3 Zoll Oeffnung und 46 Zoll Brennweite fing den Lichtstrahl auf; es war mit einem vorzüglichen Mikrometer versehen, so dass die kleinste Veränderung in dem Orte des Lichtbildes an dem Fadenkreuz beobachtet werden konnte. Die Axe des Fernrohrs lag gerade über dem Niveau der Magnetpole. Es konnte jedoch weder bei Herstellung noch bei Unterbrechung der Verbindung zwischen der Volta'schen Batterie und dem Elektromagnetdraht die geringste Aenderung in der Beschaffenheit oder dem Orte des Lichtbildes wahrgenommen werden.

2724. Da der hauptsächlichste Theil des in das Teleskop eintretenden Lichtes aus Strahlen bestand, welche in einiger Entfernung über den Magnetpolen hinweggingen, so wurden diese durch einen Schirm abgeschnitten, welcher nur ein achtel Zoll über dem Niveau der Pole stand, so dass nur Strahlen innerhalb dieses Abstandes in das Fernrohr eintreten konnten. Die Intensität des Lichtes war hierdurch natürlich geschwächt und das Bild durch Beugung verzerrt; dennoch gab das Mikrometer den Ort desselben deutlich an. Allein weder beim Erregen noch beim Verschwinden des Magnetismus zeigte sich die geringste Aenderung in dem Orte oder der Beschaffenheit des Bildes.

---

[1]) Annales de Chimie, 1850, vol. XXIX, p. 134.

2725. Nun wurde die Form der Magnetpole verändert, so dass der Lichtstrahl bald parallel und dicht neben einer langen rechtwinkeligen Kante oder parallel und zwischen zwei solchen Kanten, ein wenig über oder unter ihnen, bald oberhalb der Verbindungslinie zweier dicht zusammen stehender hemisphärischer Pole zu gehen hatte; allein in keinem Falle (es wurden noch viele andere Gestaltänderungen vorgenommen) übte der Magnetismus einen Einfluss auf den Gang des Strahles aus.

2726. Bei einem anderen Versuche wurde an Stelle des Fernrohres eine einfache Karte mit einem Nadelloch von $^1/_{50}$ oder $^1/_{100}$ Zoll Durchmesser angewandt. Das Bild des Lichtsterns war in dem dunkeln Zimmer durch das Nadelloch zu sehen, und dabei ging jeder seiner Strahlen innerhalb eines Abstandes von $^1/_{50}$ Zoll von der Oberfläche des Magnetpoles über ihn hinweg; allein es war keine von den magnetischen Kräften herrührende Wirkung wahrzunehmen.

2727. Bei einer, der früher bei meinen Versuchen über die diamagnetischen Beziehungen der Gase[1]) angewandten ähnlichen Anordnung der Polendstücke konnte ich sie mit anderen Gasen als Luft umgeben und den Strahl auf einer Strecke von zwei Zoll durch die unter dem Einfluss des Magnets stehenden Gase leiten. Obschon das Glasgefäss, in welchem dieselben eingeschlossen waren, einen störenden Einfluss auf das Bild des Gegenstandes, d. h. auf den Lichtpunkt ausübte, so war es doch leicht zu constatiren, dass durch Erregung des Magnetismus keine neue Wirkung hinzutrat.

2728. So wurden Sauerstoff, Stickstoff und Steinkohlengas dem Versuche unterworfen, bei denen ebenso wenig wie bei Luft in Berührung mit dem Pol eines kräftigen Magnets eine Ausdehnung oder Verdichtung in solchem Grade eintrat, dass ihr Brechungsvermögen sich merklich geändert hätte.

2729. Um das erwartete Resultat mit dem thatsächlichen Erfolge einer Volumenänderung zu vergleichen, liess ich den von dem leuchtenden Gegenstande zum Auge gehenden Strahl an einem 7 Zoll langen Eisenstab in einem Abstande von nur $^1/_{50}$ Zoll vorbeistreichen und erwärmte nun den Stab allmählich, bis durch die Ausdehnung der mit ihm in Berührung befindlichen Luft der Strahl merklich von seinem Wege abgelenkt wurde; wozu eine Temperaturerhöhung um viele Grade erforderlich war. Wenn die Temperatur der Luft ursprünglich 60^0 betrug, und der Eisenstab auf 100^0 F. erwärmt wurde, so trat noch keine deutliche Wirkung ein. Es schien daher, dass eine andere als die auf dem Brechungsvermögen beruhende Methode, welche eine directe Messung der Volumenänderung der Luft gestatten würde, für die Beobachtung der erwarteten Aenderung viel empfindlicher wäre; denn sicherlich wäre die durch Erwärmung einer sehr

---

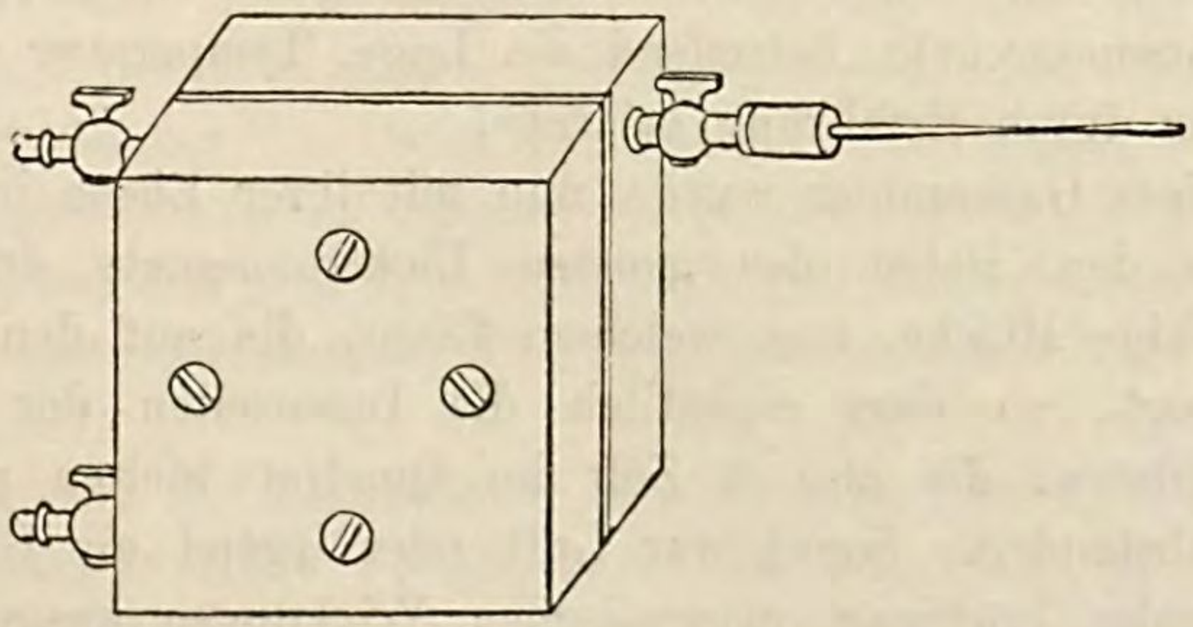
[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, pp. 414, 415.

kleinen Luftmenge von 60^0 auf 100^0 bewirkte Volumenänderung auf letzterem Wege sehr deutlich gewesen sein. Andererseits wäre es auch möglich, dass, wenn Luft oder sonst ein Gas eine Einwirkung durch den Magnet erleidet, dies nur in der unmittelbar an den Magnet anliegenden Schicht geschähe, und dass grosse Unterschiede in dem Betrage der Aenderung längs den *Ecken* und den *Kanten* derselben vorkämen. Demnach erschien es nothwendig, diese Stellen mittelst eines Lichtstrahls zu untersuchen. Mit aller Vorsicht suchte ich daher den Lichtstrahl mehr oder weniger nach den Kanten oder Ecken der Pole hin zu lenken, und ebenso machte ich die Kanten oder Ecken sehr schwach convex, um den Versuch auf alle Weise zu variiren, die am Ende das Auftreten einer besonderen oder örtlichen oder allgemeinen magnetischen oder diamagnetischen Wirkung leichter hätte sichtbar machen können, — aber Alles ohne Erfolg.

2730. Nach diesen erfolglosen Versuchen bemühte ich mich, das *Volumen* der der magnetischen Kraft ausgesetzten Luft vor und nach der Einwirkung zu bestimmen und zu vergleichen. Meine Hoffnung, auf diesem Wege ein Resultat zu erhalten, wenn die magnetischen Kräfte überhaupt eine solche Aenderung bewirken konnten, war um so grösser, als bekanntlich Luft und Gase schon in beträchtlichem Abstande von dem Magnet stark diamagnetisch afficirt werden, und Plücker bereits behauptet, eine solche Volumenänderung erhalten zu haben (2722).

2731. Das erste zu diesem Zweck construirte Instrument hatte folgende Gestalt. Zwischen zwei Blöcke von weichem Eisen von 1 Zoll Dicke und 3 Zoll im Quadrat mit eben gefeilten Flächen wurde eine Kupferplatte von $^1/_{60}$ Zoll Dicke und 3 Zoll im Quadrat, deren mittlerer Theil bis auf 0,3 Zoll vom Rande ringsum herausgeschnitten war, gelegt und mit ersteren durch Kupferschrauben ganz dicht verschraubt, so dass sie zusammen eine luftdichte Kammer von $^1/_{60}$ Zoll Dicke und 2,4 Zoll

Fig. 1.

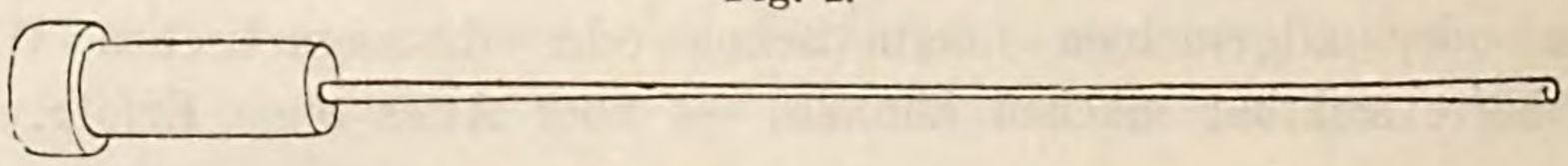


im Quadrat darstellten, dessen Seiten von den Blöcken, welche als Magnetpole dienen sollten, gebildet wurden. Drei Oeffnungen und Canäle führten

in das Innere dieser Kammer und waren mit kleinen Hähnen versehen. Durch zwei derselben konnte ein beliebiges Gas nach gehörigem Trocknen in die Kammer eingeführt oder durch ein anderes Gas ausgetrieben werden, in die dritte war eine Manometerröhre (2732) zur Beobachtung und Messung einer etwaigen Volumenänderung eingesetzt. Die Ränder der centralen Kupferplatte und die Köpfe der eingelassenen Schrauben waren mit weissem hartem Firniss bestrichen, und die Kammer so für alle Versuchsbedingungen luftdicht gemacht (Fig. 1).

2732. Die Manometerröhren bestanden aus 1,5 bis 3 Zoll langen Capillarröhrchen, deren Durchmesser in der Mitte der Länge nicht halb so

Fig. 2.



gross als an den Enden war. Dieselben waren mit einem Ende in einer Muffe befestigt, die an den oben (2731) erwähnten dritten oder Manometerhahn geschraubt war. In das nach aussen ragende Ende des Manometers wurde mittelst eines Holz- oder Glasstreifens etwas durch Cochenille gefärbter Weingeist gebracht, welcher sogleich nach dem mittleren oder engsten Theile vorrückte und, wie es stets sein muss, eine kleine zusammenhängende Flüssigkeitssäule bildete. Durch Schliessen des Hahnes konnte dieselbe leicht an ihrem Orte festgehalten werden, ohne, während man die Kammer mit Gas füllte und dessen Druck mit dem der Atmosphäre ausglich, eine Störung zu erleiden. Schloss man die anderen Hähne und öffnete den Hahn des Manometers, so musste dieses eine etwa durch die magnetischen Kräfte bewirkte Volumänderung anzeigen. Um dem Manometer jedoch den höchsten Grad von Empfindlichkeit zu geben, musste man vorher den Flüssigkeitscylinder nach rechts und links von seiner Gleichgewichtslage bewegen, um die Röhre zu beiden Seiten des Flüssigkeitsindex zu benetzen, was sich leicht durch Hin- und Herneigen der Kammer bewerkstelligen liess, indem dann die Flüssigkeitssäule vermöge der Schwere die erforderlichen Bewegungen ausführte. Diese und andere Vorsichtsmassregeln, betreffend die Lage, Temperatur u. s. w. lassen sich jedoch nur durch Erfahrung erlernen.

2733. Diese Gaskammer wurde nun mit ihrer Ebene in äquatorialer Lage zwischen den Polen des grossen Elektromagnets aufgestellt und an sie rechteckige Blöcke von weichem Eisen, die auf den Magnetpolen ruhten, angelegt, so dass eigentlich die Innenseiten der Kammer die Magnetpole bildeten, die also 3 Zoll im Quadrat hielten und $^1/_{60}$ Zoll von einander abstanden. Somit war Luft oder irgend ein Gas im Innern der Kammer sehr kräftigen magnetischen Wirkungen ausgesetzt, und es hätten selbst sehr kleine Aenderungen ihres Volumens gemessen werden können. Es ist jedoch vielleicht nöthig zu bemerken, dass die Gase sich

überall in einem magnetischen Felde von gleichförmiger Intensität befanden (2463, 2465).

2734. Zunächst wurde *Luft* in die Kammer eingeführt, und wenn Alles in gehöriger Ordnung war, der Ort des Flüssigkeitsindex mit einem Mikroskop beobachtet. Als dann der Magnet sehr kräftig erregt wurde, trat eine sehr geringe Verschiebung der Flüssigkeit ein, wie wenn die Luft sich ein wenig ausgedehnt hätte; beim Verschwinden des Magnetismus kehrte die Flüssigkeit wieder an ihren früheren Ort zurück, und dieser Vorgang wiederholte sich immer wieder. Der Betrag dieser Aenderung war sehr gering, und ich hatte Grund, ihn dem von dem erregten Magnet auf die Seiten der eisernen Kammer ausgeübten Druck zuzuschreiben; denn als später die Kammer in einen Schraubstock gespannt und gepresst wurde, machte die Flüssigkeit dieselbe Bewegung, und als ferner die rechteckigen Eisenklötze (2733) durch eine hölzerne Zwischenlage abgehalten wurden, so dass sie die Kammer nicht wirklich berührten und drückten, war der Vorgang fast auf Null reducirt.

2735. Dasselbe Resultat wie mit Luft wurde mit Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure und Stickoxydul, die nach einander in die Eisenkammer eingeleitet wurden, erhalten. Zwischen Sauerstoff und den übrigen Gasen zeigte sich kein Unterschied, trotzdem sie doch in ihrer magnetischen und diamagnetischen Kraft und Beziehung so beträchtlich von einander abweichen. Auch Wasserstoff und Steinkohlengas wurden dem Versuch unterworfen; allein wenn diese Gase sich in der Kammer befanden, so erfolgte ein langsames Zurückweichen des Flüssigkeitsindex, das, wie ich fand, von der Absorption der Gase entweder durch den Firniss oder den Kitt oder den Kork am Manometer oder an den Fugen der Kammer herrührte. Dies war ein deutlicher Beweis für die Empfindlichkeit des Manometers, aber wenn man diesen Effect in Rechnung zog, so ergab sich, dass die magnetischen Kräfte das Volumen dieser Gase ebenso wenig änderten, wie das der anderen.

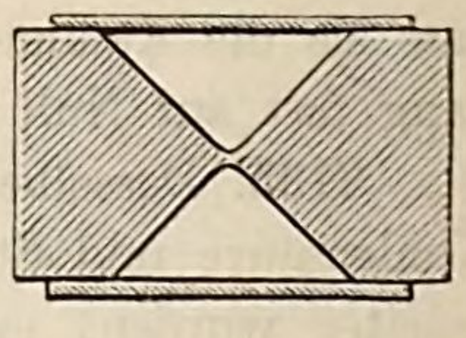
2736. Der Durchmesser des Manometers war an der Stelle, wo sich die Flüssigkeit befand, etwas kleiner als $^1/_{100}$ Zoll. Eine Verschiebung um $^1/_{100}$ Zoll liess sich leicht erkennen. Vergleicht man diese Zahlen mit dem Rauminhalt der Gaskammer, so ergiebt sich, dass eine Ausdehnung oder Zusammenziehung des Gases in derselben um $^1/_{100\,000}$ seines Volumens wahrnehmbar gewesen wäre; ebenso würde man einen diesem Betrage sich nähernden *Unterschied* zwischen Sauerstoff und Stickstoff oder den anderen Gasen haben bemerken können, *aber es zeigte sich kein Effect oder Unterschied dieser Art.*

2737. Da mir die Feststellung entweder des *Vorhandenseins* oder des *Nichtvorhandenseins* einer Volumenänderung der Gase unter Einfluss des Magnets von grosser und fast gleicher Wichtigkeit zu sein schien, so sah ich mich veranlasst, zu erwägen, ob nicht gerade der Umstand, dass die Gase sich bei dem eben beschriebenenen Versuche in einem magnetischen

Felde von überall gleicher Intensität befanden (2733), dem Auftreten der gesuchten Wirkung hinderlich war; denn ein solches ist für die diamagnetischen Erscheinungen fester und flüssiger Körper am ungünstigsten und sie treten darin fast bis zum Verschwinden schwach auf. Ich construirte daher einen anderen Apparat, bei dem diese Bedingung nicht vorhanden war, und wo die Theilchen des diamagnetischen Gases, wenn sie durch eine unbekannte Vertheilung der in's Spiel tretenden Kräfte bloss von Orten stärkerer zu Orten schwächerer Kraft getrieben würden und somit unfähig wären, sich in axialer Richtung auszudehnen, dies bloss in äquatorialer Richtung thun würden, wozu ihnen die Möglichkeit geboten wurde.

2738. Aus einem Cylinder von weichem Eisen waren auf der Drehbank die mittleren Theile herausgeschnitten, so dass er die Gestalt eines Stundenglases oder die der Figur 3, in welcher er in $^1/_3$ der natürlichen Grösse dargestellt ist, erhalten hatte. Ich erwartete, dass er, an Stelle der früheren Kammer zwischen die Magnetpole gebracht, bei der Continuität des Eisens keine Verkürzung durch den Druck der Pole (2734) erleiden würde, und dass sich an den Stellen, wo das Eisen fortgenommen war, die diamagnetischen Erscheinungen in vollstem Maasse zeigen würden. Letzteres war auch wirklich der Fall, denn Flammen, Rauch, Wismuth und andere diamagnetische Körper stellten sich daselbst ohne Weiteres äquatorial ein.

Fig. 3.



2739. Eine Kupferröhre von 2,5 Zoll Länge und 0,1 Zoll Wanddicke wurde, dem Eisen angepasst, so wie es Fig. 3 darstellt, über dasselbe geschoben und mit etwas weichem Kitt vollkommen luftdicht festgekittet. Es wurde so eine ringförmige Luftkammer um das Eisen gebildet, deren Rauminhalt etwas mehr als 2 Cubikzoll betrug, und die den Theil des magnetischen Feldes einnahm, dessen Intensität am grössten war. Die Kupferhülle war mit drei Hähnen versehen, von denen zwei zum Ein- und Auslassen des Gases dienten und der dritte wie vorher mit dem Manometer verbunden war. Ohne Umkleidung konnte dieser Apparat nicht benutzt werden, weil seine Temperatur fortwährend schwankte, und diese Störungen sich in Verschiebungen der Flüssigkeit des Manometers geltend machten; als er jedoch mit drei Lagen Flanell umhüllt wurde, blieb seine Temperatur vollkommen constant, und er liess nichts zu wünschen übrig, als noch hölzerne Schlüssel zum Drehen der Hähne benutzt wurden.

2740. Ehe ich mich dieses Apparates für verschiedene Gase bediente, und um eine Vorstellung zu gewinnen von dem, was bei einem Vergleiche der Gase unter einander zu erwarten sei, machte ich folgenden Versuch, der auf dem Verhältniss des specifischen Gewichtes des Wasserstoffs zur Luft beruht. Es ist leicht, eine Spur von Ammoniak sich in der in einer Flasche befindlichen Luft verbreiten zu lassen, indem man ein mit einer

starken Lösung desselben befeuchtetes Stückchen Papier hineinbringt[1]), und es ist ebenso leicht, einen Wasserstoffstrahl, der eine sehr kleine Menge Salzsäuregas enthält, durch eine horizontale Röhre in die ammoniakhaltige Luft einzulassen. Dabei lässt sich die Bahn des leichten Wasserstoffgases in der schwereren Luft ganz deutlich erkennen, und man sieht, wie er, eben in Folge seines im Vergleich zur Luft geringen specifischen Gewichts beim Verlassen der horizontalen Röhre sich auf einmal aufwärts wendet und rasch in die Höhe steigt, in seinem Fortgang Fäden ziehend.

2741. Zwei an den grossen Magnet angelegte halbkugelförmige Polstücke von Eisen wurden nun mit einander in Berührung gebracht, um von Luft oder Sauerstoff[2]) umgeben zu werden, und gegen die Mitte des Magnetfeldes, genau unter der axialen Linie, ein Wasserstoffstrom, der 6 Cubikzoll in der Minute lieferte, gesandt. So lange der Magnetismus nicht erregt war, stieg der Wasserstoff senkrecht in die Höhe, an den Punkten, wo die halbkugelförmigen Pole einander berührten, sich brechend; bei Erregung des Magnetismus aber theilte sich der Wasserstoffstrom in zwei Zweige, die nach rechts und links gingen und in einiger Entfernung von dem Berührungspunkte in die Höhe stiegen. Diese Theilung erfolgte in einem gewissen Abstande *unter* der axialen Linie, und hier war der Wasserstoff, trotz seiner Steigkraft in Luft oder Sauerstoff, anscheinend durch die Abstossungskraft des Magnetismus gezwungen, sich horizontal fortzubewegen; und er näherte sich in seinem weiteren Laufe nicht der axialen Linie, sondern bildete eine mit ihr völlig oder nahezu concentrische Curve, so dass die beiden Zweige des Gasstromes genau die Gestalt einer Stimmgabel annahmen.

2742. Wenn das Magnetfeld von Luft erfüllt war, so erfolgte die Theilung des Wasserstoffstromes 0,3 bis 0,32 Zoll unter der axialen Linie; waren die Pole von Sauerstoff umgeben, so geschah die Theilung 0,5 Zoll unter dieser Linie; folglich war bei diesen Abständen die Kraft, welche den Wasserstoff von der axialen Linie in Richtung des Radius äquatorial abwärts trieb, gleich der Differenz zwischen dem specifischen Gewicht der Luft, respective des Sauerstoffs und dem des Wasserstoffs. Bei kleineren Abständen muss die Kraft viel grösser sein, und in der That wurde der Wasserstoff, wenn man ihn in grösserer Nähe der axialen Linie ausströmen liess, abwärts und mit grösserer Kraft hinweg getrieben. Mit Berücksichtigung dieser Ergebnisse und in der Annahme, dass die diamagnetischen Gase nur in Folge der directen Wirkung des Magnets von der axialen Linie zurückwichen, indem sie hierdurch von Punkten stärkerer zu Punkten schwächerer Wirkung getrieben wurden, fand ich, wie ich dachte, Grund zu glauben, dass die stärker diamagnetischen Gase, welche das Innere der

---

[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, p. 415.
[2]) Ibid. pp. 413, 414.

Kupferkammer ausfüllten (2739), durch die Magnetkraft wahrscheinlich wenigstens um $^1/_{60\,000}$ ihres Volumens ausgedehnt worden wären. Nun waren die von mir angewandten Manometer empfindlich genug, um die Bewegung der Flüssigkeit um $^1/_{100}$ Zoll erkennen zu lassen (2736), eine Strecke, die nur $^1/_{2\,500\,000}$ der Capacität der Kammer entspricht, und daher würde sie sich durch eine Ausdehnung wie die obige um 0,4 Zoll bewegt haben, eine Grösse, die mehr als hinreichend ist, um das Resultat sichtbar zu machen, wenn die Grundannahme richtig wäre.

2743. *Luft* wurde zunächst der Kraft des grossen, durch zwanzig Grove'sche Plattenpaare erregten Hufeisenmagnets in diesem Apparat (2739) ausgesetzt. Bei Erregung der Magnetkraft bewegte sich die Flüssigkeit sehr schwach nach aussen, wie wenn eine geringe Ausdehnung stattgefunden hätte, und kehrte bei Aufhebung der Kraft zurück. Diese geringe Wirkung rührte, wie sich später ergab, von einer Zusammendrückung her, in Folge des Bestrebens der Magnetpole, sich einander zu nähern (2734).

2744. *Sauerstoff* zeigte genau dieselben Erscheinungen von derselben Grösse wie gewöhnliche Luft, so dass also hier kein magnetischer oder diamagnetischer Effect erkennbar war, sondern nur der von der Druckwirkung herrührende, welcher bei der Luft beobachtet worden war (2743).

2745. *Stickstoff* gab genau dieselben Resultate wie Sauerstoff und Luft. Nun ist Stickstoff wahrscheinlich stärker diamagnetisch als Wasserstoff und deshalb hätte er einen auffallenden Contrast zum Sauerstoff zeigen müssen, wenn überhaupt ein positives Resultat zu erlangen gewesen wäre.

2746. Kohlensäure und Stickoxydul gaben dieselben negativen Resultate; der Apparat war, wie ich glaube, in tadellosem Zustande.

2747. Die Pharmaceutische Gesellschaft besitzt einen vorzüglichen, ähnlich wie der meinige (2247) eingerichteten, aber weit kräftigeren Elektromagnet in Hufeisenform, der mir durch Redwood zur Wiederholung der Versuche im Hause der Gesellschaft gütigst zur Verfügung gestellt wurde. Das sehr weiche Eisen desselben, von guter Beschaffenheit, bildet einen 5 Zoll dicken quadratischen Stab, dessen Mittellinie 50 Zoll lang ist. Es ist mit 1500 Fuss Kupferdraht von 0,175 Zoll Dicke bewickelt, welcher (wenn ich ihn benutzte) eine zusammenhängende Strecke bildete. Die beweglichen Polstücke sind massiv im Verhältniss zu dem Magnet. Zur Erregung dieses Magnets dienten achtzig Grove'sche Plattenpaare, und da sich durch Vorversuche fand, dass sie die stärkste Wirkung gaben, wenn sie zu zwanzig in vier mit den gleichnamigen Enden verknüpften Reihen zusammengestellt waren, so wurde diese Anordnung angewandt, in der sie also eine Batterie von zwanzig Plattenpaaren bildeten, und wobei der eingetauchte Theil jeder Platinplatte 4×9 Quadratzoll betrug und folglich dem wirksamen Zink eine Oberfläche von 72 Quadratzoll darbot.

2748. Bei Wiederholung der vorigen Versuche (2743) zeigte sich wiederum die Druckwirkung, und man konnte deutlich erkennen, dass der

Magnet selbst, obschon er eine Dicke von 5 Zoll hatte, in Folge der gegenseitigen Anziehung seiner Pole ein wenig gebogen wurde. Der Effect war wegen der Gleichförmigkeit des durch die Mitte der Gaskammer gehenden Kernes (2738) sehr schwach. Es war der einzige, den das Manometer anzeigte, und er war für alle Gase gleich; nach Abzug desselben blieb nichts übrig, was eine Volumenänderung des Gases selbst angezeigt hätte.

2749. *Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure und Stickoxydul* nach einander dem Einfluss dieses sehr kräftigen Magnets ausgesetzt, zeigten nicht die geringste Spur einer Volumenänderung.

2750. Ich glaube, dass die Versuche in jeder Hinsicht ausreichend sind, um zu entscheiden, dass das Volumen dieser Gase, man mag sie als magnetische oder diamagnetische Körper ansehen, oder beiden Klassen zuzählen (denn Sauerstoff steht in auffallendem Gegensatze zu den übrigen), durch die Magnetkraft weder in einem gleichförmigen Felde (2737) noch an Orten, wo die Kraft rasch abnimmt, geändert wird. Ich halte diese Entscheidung für sehr wichtig in Bezug auf die wahre Natur der entweder in den Körpertheilchen existirenden oder auf sie wirkenden Magnetkraft; und wie die Kraft im magnetischen Felde sich nicht als eine centrale, sondern als eine axiale erweist, so ist auch die weitere Unterscheidung der Erscheinungen in solche, welche der axialen Richtung angehören (2733), und in solche, welche der äquatorialen Richtung angehören oder sie einbegreifen (2737), nicht unwichtig; denn sie zeigt, dass die Theilchen nicht das Bestreben haben, sich parallel oder senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien von einander zu entfernen. Ohne die Versuche hätte man es für sehr wohl möglich halten können, dass die eine dieser Ausdehnungsweisen, aber nicht die andere stattfände.

2751. Ohne Zweifel ist es freilich dennoch möglich, dass Volumänderungen in diesen Richtungen stattfinden, nämlich Ausdehnung in der einen und Zusammenziehung in der anderen, beide von gleichem Betrage. Es war eben zum Theil mit Rücksicht auf die Möglichkeit derartiger Aenderungen (die als molecular zu betrachten wären), dass die Versuche mit dem Lichtstrahl angestellt wurden (2723, 2729) und sowohl bei diesen wie bei anderen Versuchen ein polarisirter Lichtstrahl als Prüfungsmittel angewandt wurde; allein die Resultate waren stets negativ, wenn durch Wiederholung und Aufmerksamkeit Fehlerquellen ausgeschlossen wurden.

2752. Die grossen Unterschiede in dem Grade von diamagnetischer Empfänglichkeit und Beschaffenheit, welche die in den vorstehenden Versuchen angewandten Gase besitzen oder annehmen können, sind derart, dass sie die Annahme rechtfertigen, dass, so wenig wie sie selbst, irgend ein anderes Gas oder ein Dampf eine Neigung zu einer Volumänderung zeigen werde, sondern dass alle zu dieser Gruppe gehörigen Körper sich in dieser Beziehung gleich verhalten. Im Zusammenhange mit diesem Schluss möchte ich noch bemerken, dass ich mich bei früheren Gelegenheiten und erst kürz-

lich bemüht habe, mittelst sehr empfindlicher Apparate und kräftiger Elektromagnete zu ermitteln, ob das Volumen von Flüssigkeiten, wie Wasser, Alkohol und Eisenvitriollösung, eine Aenderung erleidet, aber keine derartige Wirkung zu beobachten vermochte und auch nicht glaube, dass eine solche existirt. Noch später habe ich aus der Klasse der festen Körper Eisen als magnetisches Metall und Wismuth als diamagnetische Substanz derselben Prüfung unterworfen, indem ich diese Metalle sowohl in Form massiver Cylinder als auch in Form von Feilicht oder Bruchstücken anwandte. Die Cylinder befanden sich in Glasröhren und die Bruchstücke in Glasflaschen; dieselben waren mit Manometerröhren, wie die oben beschriebenen (2732), verbunden, und der nicht vom Metall eingenommene Theil des Gefässes war in der einen Versuchsreihe mit Luft, in der anderen mit Alkohol gefüllt; allein in keinem Falle vermochte ich die geringste Volumänderung des Eisens oder Wismuths wahrzunehmen, wie stark auch die Magnetkraft war, der sie ausgesetzt wurden.*)

2753. Noch eine andere Wirkung einer Abstossungskraft erschien möglich, selbst wenn, gemäss einer früheren Voraussetzung (**2751**), ein Bestreben zur Ausdehnung in äquatorialer Richtung durch das Bestreben zu einer eben so viel betragenden Zusammenziehung in axialer Richtung aufgewogen sein sollte, nämlich, dass bei Anwendung von spitzen Polen oder dem schon beschriebenen Stundenglas-Kern Strömungen entständen, die auswärts oder äquatorial, d. h. in zur magnetischen Axe senkrechten Linien liefen, und andere Ströme, die gegen diese Linie hin längs den geneigten Flächen der Polenden gingen, einigermassen den so kräftigen und leicht zu verfolgenden Strömen ähnlich, welche sich zeigen, wenn eine Flamme oder heisse Luft in Luft oder ein Gasstrom in einem anderen Gase beobachtet wird.[1])

2754. Wenn jedoch das das ganze magnetische Feld erfüllende Gas von gleichförmiger Natur und gleicher Temperatur war, so liess sich nicht die geringste Spur solcher Strömungen beobachten. Es ist nicht leicht, einwurfsfreie Prüfungsmittel für solche Bewegungen zu ersinnen, da sichtbare Körper, die man zum Nachweis der Bewegungen der Luft in ein solches magnetisches Feld einführen könnte, selbst diamagnetisch sind, und wenn sie ein vereinzeltes Wölkchen bilden, in Bewegung gerathen und fortgeführt werden würden, wie ein diamagnetischer Körper; wenn aber das ganze Feld ziemlich gleichmässig von sehr leichten Staubtheilchen oder Lycopodium erfüllt war, so war auch bei starker Erregung des Magnets keine Spur einer Luftströmung zu sehen. Als man ferner einen schwachen

---

[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, pp. 402, 404, 409. [Siehe weiter unten].

*) Vgl. zu diesem und dem folgenden Abschnitt die Untersuchungen von Quincke, Wiedem. Ann., 24, p. 347. 1885; 34, p. 401. 1888, und Toepler und Hennig, Sitzungsber. d. Berl. Akad. d. Wissenschaften 1888, S. 373. D. Ü.

Strom von zertheiltem kaltem Rauch einer glimmenden Wachskerze[1]) ein wenig an einer Seite der axialen Linie herabsinken oder aufsteigen liess, wurde er nach auswärts und äquatorial getrieben; allein obwohl er mit grösster Gewalt nach aussen ging, wenn er sich in gleichem Abstande von den beiden konischen Polen oder den entsprechenden Theilen des doppelten Eisenkerns (2738) befand, so fuhr er doch fort, auswärts und äquatorial zu gehen, wenn man ihn nahe einer Seite vorbeistreichen liess, selbst wenn er wegen grosser Nähe der Eisenfläche gleichsam über dieselbe hinwegzugehen hatte. Dies zeigt, dass der Rauch in *jedem Theile* des von Luft oder Gas erfüllten magnetischen Feldes das Bestreben hatte, nach aussen zu gehen und dass daher seine Bewegung von der Wirkung des Magnets auf ihn als ein Diamagneticum herrührte und nicht von Luftströmungen, welche, wenn sie existirten, an einer Stelle nach innen, an einer anderen nach aussen gerichtet wären.

2755. Wenn magnetische oder diamagnetische Flüssigkeiten nach der sinnreichen Methode von Plücker auf einer Glimmerplatte über den Polen dem Einfluss der Magnetkraft ausgesetzt wurden, so nahmen sie schnell die ihrer Natur entsprechenden verschiedenen Gestalten an, aber eine weitere Bewegung oder Strömung fand in ihnen nicht statt. Ohne Zweifel sind diese Fälle verschieden von denen, wo das ganze magnetische Feld von demselben Medium erfüllt war, dennoch unterstützen sie hinreichend den Schluss, dass keine Strömungen stattfinden. Brachte man dieselben Flüssigkeiten in Glaszellen zwischen die Pole, so liessen sich keine magnetischen Strömungen in ihnen wahrnehmen, wenn man auch, um etwaige Ortsverschiebungen dieser Art sichtbar zu machen, feine Theilchen in die Flüssigkeit eingeführt hatte.

2756. Es lässt sich also weder durch einen Lichtstrahl (2727, 2729) noch durch Ausdehnung oder Zusammenziehung (2750) noch durch Auftreten von Strömungen (2754) der Nachweis erbringen, dass der Magnet eine directe Anziehungs- oder Abstossungskraft auf die Theilchen der untersuchten Gase ausübt, oder dass ihre bekannte Bewegung im magnetischen Felde von einer solchen unmittelbaren Anziehung oder Abstossung herrührt.

II. Magnetische Differentialwirkung.

2757. Was ist denn nun die Ursache der diamagnetischen Ortsveränderung? Der Vorgang ist offenbar eine Differentialwirkung, bedingt von den *Unterschieden* zweier Mengen oder Massen der das magnetische Feld erfüllenden Substanzen, wie Luft und die Ströme eines anderen Gases darin[2]), oder Quecksilber und die Röhre mit Luft darin (2407), oder Wasser und das Wismuthstück darin (2301), und wiewohl er sich nur in der

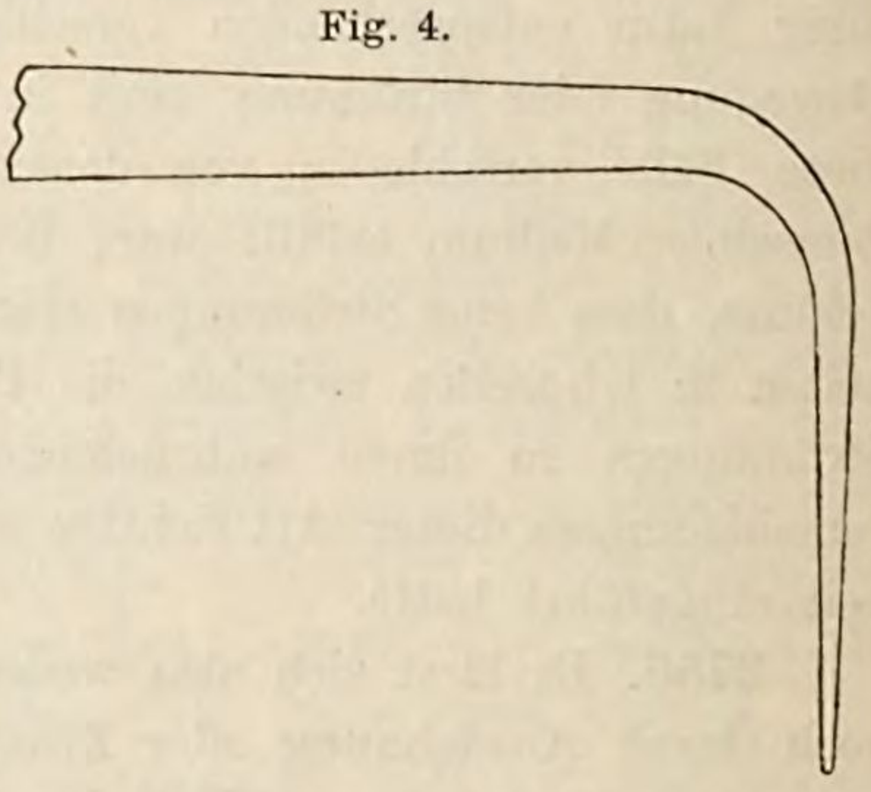
---

[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, p. 403.
[2]) Ibid. p. 409.

Wirkung von Massen zeigt, so müssen doch die letzteren zweifellos ihre Verschiedenheiten den Qualitäten ihrer Theilchen verdanken. Man muss jedoch bemerken, dass es bisher noch auf keine Weise gelungen ist, die Theilchen sehr verschiedener, in vollkommener Mischung befindlicher Substanzen selbst durch die kräftigsten Magnete zu trennen. Sauerstoff und Stickstoff weichen ausserordentlich von einander ab, dennoch zeigt sich in sehr kräftigen magnetischen Feldern nicht die geringste Spur einer Trennung.[1]) In anderen Versuchen stellte ich das untere Ende einer Röhre mit einer verdünnten Lösung von Eisenvitriol zwischen die Pole eines kräftigen Hufeisenmagnets, an einem Orte von vollkommen gleichförmiger Temperatur, und liess sie tagelang daselbst, ohne die geringste Spur einer Concentration der Lösung an dem Ende, wo sich ein Bestreben der Theilchen, sich zu trennen, hätte zeigen müssen, wahrnehmen zu können.

2758. Die diamagnetischen Erscheinungen der Gase, als eine von dem Volumen dieser Körper bedingte Differentialwirkung betrachtet, lassen sich in sehr zweckmässiger Weise durch Anwendung von Seifenblasen folgendermassen hervorbringen und untersuchen. Eine Glasröhre war mit einer Kappe, einem Hahn und einer Blase, aus welcher ein darin befindliches Gas durch die Röhre getrieben werden konnte, und mit einem Fuss oder Stativ versehen, so dass sie in jede gewünschte Lage gebracht werden konnte. Die Röhre war rechtwinklig nach unten hin gebogen und am Ende gerade abgeschnitten, so dass sie die in Fig. 4 angegebene Grösse und Gestalt hatte.

Fig. 4.



2759. Es ist leicht, an dem Ende einer solchen Röhre Seifenblasen von jeder Grösse bis zu einem Zoll Durchmesser zu erzeugen und sie durch das Spiel des Hahnes beliebig lange zu erhalten. Das Seifenwasser bereitet man, wenn man es braucht (nicht im Voraus), indem man einige Stückchen Seife in etwas kaltes destillirtes Wasser legt, woraus sich die dünnsten und gleichförmigsten Blasen erzeugen lassen, welche beweglicher sind als die aus dickerem Seifenwasser und bei einiger Sorgfalt sich lange genug für jeden brauchbaren Versuch halten. Das Ende der Röhre muss vollkommen rein und frei von fremden Substanzen (die oft die Blasen zerstören), innen und aussen mit der Seifenlösung befeuchtet sein, die man *eine Weile vor dem Gebrauch darin lassen* muss.

2760. Erzeugt man an dem abwärts gehenden Ende der Röhre eine

---

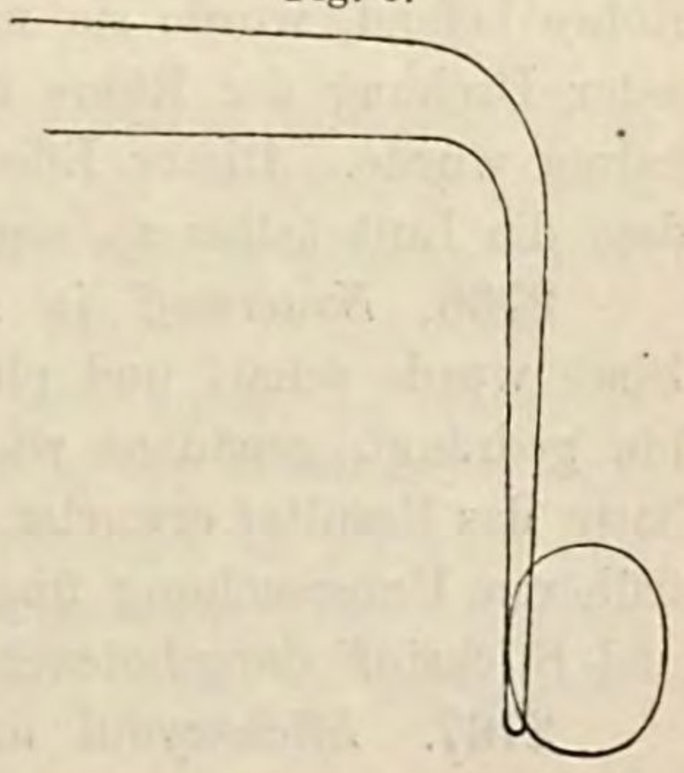
[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, p. 416.

Blase von einem halben Zoll Durchmesser, so wird sie gewöhnlich ein wenig überschüssiges Wasser am Boden enthalten und von dem engen Ende der Röhre so locker herabhängen, dass sie sich mit grosser Freiheit bewegen kann. Sie wird daher wie ein Pendel hin und her schwingen, und je nachdem sich mehr oder weniger Wasser am Boden befindet, wird sie mehr oder weniger rasch schwingen, wird als Ganzes mehr oder weniger stark gravitiren und ihre so bedingte senkrechte Lage mit grösserer oder geringerer Beständigkeit beibehalten, — Umstände, welche bei Anwendung der Blase als eines magnetischen oder diamagnetischen Indicators sehr nützlich sind.

2761. Die Regulirung der relativen Wassermenge in oder auf der Blase lässt sich innerhalb gewisser Grenzen leicht bewerkstelligen. Durch Berührung des Endes der Röhre nach ihrem Eintauchen in das Seifenwasser mit einem ebenfalls in das Seifenwasser eingetaucht gewesenen Holzstück oder Glasstab lässt sich mehr oder weniger von der Flüssigkeit fortschaffen, und wenn man beobachtet, bis zu welcher Höhe die Flüssigkeit innerhalb der Röhre in Folge der Capillarwirkung steht, die zwischen $^1/_{20}$ und $^1/_2$ Zoll schwanken kann, so ist es nach einiger Uebung leicht zu bestimmen, wie viel erforderlich ist, um eine Blase zu erzeugen, die mit einer gewissen Menge Wasser beladen ist, und wie wenig man braucht, um eine Blase ohne alles unten anhängendes Wasser zu erhalten; und ebenso leicht ist es dann, im Voraus diejenige Wassermenge anzuwenden, um eine Blase von gewünschter Beschaffenheit zu erzeugen. Selbst wenn kein Wassertropfen an dem Boden zurückbleibt, kann man dennoch die Wanddicke reguliren.

2762. Je weniger Wasser die Blasen enthalten, desto empfindlicher sind sie in ihren Angaben. Sie schwingen langsamer und werden durch seitlich auf sie wirkende Kräfte leichter in Bewegung gesetzt. Die diamagnetische Wirkung des Seifenwassers, aus dem sie gebildet sind, ist kleiner und daher die des darin eingeschlossenen Gases verhältnissmässig grösser. Ist die Blase sehr dünn, so wird die hängende Lage eine Lage labilen Gleichgewichts, denn jede Neigung der Röhre, sowie jede noch so kleine seitliche Kraft bewirkt, dass die Blase sich seitwärts verschiebt, an der Aussenwand der Röhre in die Höhe steigt und daran haften bleibt, Fig. 5. Die hängende Lage bildet in eingeschlossenen Räumen oder Atmosphären einen ausserordentlich empfindlichen Indicator und, selbst wenn die Blase sich an der Aussenseite der Röhre befindet, einen sehr werthvollen Apparat; denn sie dreht sich frei um die Röhre als Axe, und da sie einen gewissen Grad von Festigkeit besitzt, so kann sie in jeder Lage im magnetischen

Fig. 5.

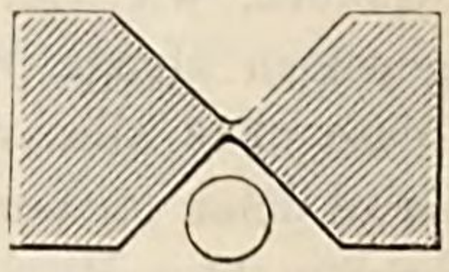


Felde gehalten werden und zeigt durch ihre Bewegung gegen die axiale Linie hin oder von ihr fort den magnetischen oder diamagnetischen Zustand des in ihr enthaltenen Gases in Bezug auf die umgebende Luft sehr gut an.

2763. Wenn die Mündung der Röhre nach oben gekehrt ist, so lassen sich die allerdünnsten Blasen erzeugen, aber ihre Lage ist dann sehr unbeständig und sie begeben sich an die Seite der Röhre; sie können wie zuvor zur Angabe gebraucht werden (2762). Macht man die Mündung der Röhre breiter, so kann man bewirken, dass die Blasen, wenn sie dünn sind, am Ende stehen bleiben; aber da ihre Haftfläche grösser ist, so erfordern sie zu einer seitlichen Bewegung mehr Kraft und ihre Angabe büsst an Empfindlichkeit ein. Wenn man mit solchen Blasen arbeitet, so ist es zweckmässig, sie für dieselbe Reihe von vergleichenden Versuchen nahezu gleich gross und dick zu machen. Ich nehme gewöhnlich solche von einem halben Zoll Durchmesser.

2764. Als ich eine solche Blase mit *Luft* in der hängenden Lage erzeugte, sie in den Winkel des Doppelpols im Niveau der axialen Linie (Fig. 6) brachte und den Magnetismus durch zwanzig Plattenpaare erregte, wurde die Blase mit einer gewissen Kraft von der axialen Linie nach aussen (oder äquatorial) abgelenkt und kehrte bei Unterbrechung des elektrischen Stromes in ihre ursprüngliche Lage zurück. Die Ablenkung war nicht gross, und da sie von dem Wasser der Blase herrührte, so diente sie als Angabe der Grösse dieser Wirkung und zur Correction bei Versuchen mit anderen Gasen.

Fig. 6.



2765. *Stickstoff in Luft.* — Eine Blase mit Stickstoff in gewöhnlicher Luft ging auswärts oder äquatorial mit einer eine solche Verschiebung einer Blase mit Luft (2764) in sehr auffallender und instructiver Weise bedeutend übersteigenden Kraft. Oft wurde sie von dem Ende an der Seite der Röhre hinaufgetrieben, und wenn sie sich an der Innenseite der Röhre befand, wurde sie nach der Aussenseite getrieben und behielt bei jeder Drehung der Röhre diese Lage bei, so lange der Magnetismus unterhalten wurde. Dieser Effect ist um so auffallender, wenn man bedenkt, dass die Luft selbst zu vier Fünfteln aus Stickstoff besteht.

2766. *Sauerstoff in Luft.* — Die Wirkung war sehr deutlich, die Blase wurde scharf und plötzlich nach innen oder gegen die axiale Linie hin gedrängt, genau so wie wenn Sauerstoff stark magnetisch wäre. Ich hatte das Resultat erwartet, da es in Uebereinstimmung ist mit den in einer früheren Untersuchung über den Diamagnetismus der Gase[1]) von Sauerstoff und Stickstoff dargebotenen Erscheinungen.

2767. *Stickoxydul und ölbildendes Gas in Luft.* — Die Blasen

---

[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, pp. 410, 415.

bewegten sich auswärts oder nach Art von Diamagneticis mit einer weit grösseren Kraft als der Wirkung des Wassers der Blase entsprach, was die Beziehung dieser Gase zur Luft beweist und mit den früher mit Strömen dieser Substanzen erhaltenen Resultaten[1]) in Einklang ist.

2768. Es hat keine Schwierigkeit, diese Beobachtungsmethode bei Versuchen mit Gasen in anderen Gasatmosphären als in Luft anzuwenden, vorausgesetzt, dass dieselben nicht die Blase zerstören; ich will jedoch keine Zeit mit Aufzählung der Resultate derartiger Versuche verlieren, da dieselben mit den früher erlangten vollkommen übereinstimmen.[2]) Die gegebene Beschreibung ist völlig hinreichend zum Nachweis der Behauptung, dass die Bewegung eines Gases in einem anderen im magnetischen Felde eine Differentialwirkung ist, und die Beispiele sind genügend, um später darauf Bezug zu nehmen.

2769. Dieser Schluss, dass hier eine Differentialwirkung der in dem magnetischen Felde befindlichen Substanzmassen vorliegt, ergiebt sich auch aus der Ueberlegung des Verhaltens gasförmiger, flüssiger und fester diamagnetischer Körper, welches in einem früheren Abschnitt dieser Untersuchungen angeführt wurde (2405—14); und auch in Bezug auf magnetische Körper lässt sich derselbe Schluss aus den damals beschriebenen Versuchen ziehen (2361—68).

III. Magnetischer Charakter des Sauerstoffs, Stickstoffs und des Raumes.

2770. Die Differentialwirkung zweier Gasmengen oder zweier beliebiger Körper lässt sich nach einer verfeinerten Methode in einer weit interessanteren und bedeutenderen Weise als in der eben beschriebenen untersuchen. Die Art der Wirkung kann sogar zur Grundlage von Instrumenten dienen, durch welche sich wahrscheinlich höchst wichtige Angaben und Messungen magnetischer und diamagnetischer Wirkungen erhalten lassen, die zu bisher nicht einmal geahnten Resultaten führen können.

2771. Wenn zwei gasförmige oder flüssige Substanzen symmetrisch zu beiden Seiten der magnetischen Axe zusammen in ein magnetisches Feld gebracht werden, so werden sie gleichzeitig eine Einwirkung erleiden. Sind beide diamagnetisch oder weniger magnetisch als das das Magnetfeld erfüllende Medium, so werden sich beide auswärts oder äquatorial bewegen, gleich stark, wenn sie gleich, ungleich stark, wenn sie verschieden sind. Die Folge davon ist, dass, wenn sie sich von vornherein in gleichem Abstande von der magnetischen Axe befinden, die magnetische Kraft ihre Lage nicht ändern wird, wenn sie gleich sind, aber wohl, wenn sie verschieden

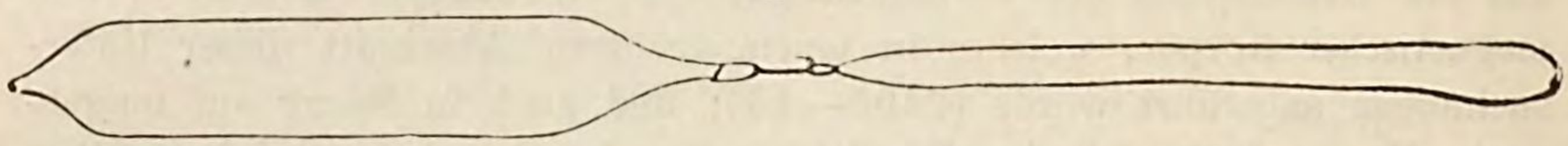
---

[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, p. 411.
[2]) Ibid. pp. 414, 415.

sind; denn die stärker diamagnetische Substanz wird sich äquatorial auswärts bewegen, während das schwächere Diamagneticum nach innen gedrängt wird, bis beide solche neue Lagen annehmen, dass die auf sie wirkenden Kräfte sich aufheben und sie sich in stabiler Gleichgewichtslage befinden. Nun kann man die Strecke, durch welche sie sich bewegten, indirect gebrauchen, oder besser noch, man kann die zu ihrer Zurückführung in die äquidistante Lage erforderliche Kraft direct benutzen, um die Grösse des Bestrebens, von der magnetischen Axe fortzugehen, zu bestimmen, d. h. ihre relativen diamagnetischen Intensitäten zu erhalten.

2772. Um Gase nach dieser Methode zu untersuchen, nahm ich eine sehr dünne und regelmässige Flintglasröhre von ungefähr $^5/_{16}$ Zoll äusserem Durchmesser und nicht mehr als $^1/_{60}$ Zoll Dicke, und zog zwei gleiche Theile derselben vor dem Gebläse zu der in Fig. 7 abgebildeten Gestalt und Grösse aus, deren cylindrischer Theil $1^1/_2$ Zoll lang war, füllte den

Fig. 7.



einen mit Sauerstoff, den anderen mit Stickstoff und verschloss sie dann hermetisch. Das Ende des verlängerten Theiles von beiden bestrich ich noch warm mit Siegellack und befestigte einen Faden daran, den ich zu einer Schlinge knüpfte, wie es hier in natürlicher Grösse dargestellt ist. Mittelst derselben sollten die Röhren senkrecht an eine Torsionswaage gehängt werden, so dass die Mitte einer jeden sich in gleichem Niveau mit der magnetischen Axe befand.

2773. Die Torsionswaage bestand aus einem Bündel von sechzig gleichmässig gestreckten Coconfäden, oben an einer verticalen Axe befestigt, die eine graduirte Platte mit horizontalem Zeiger trug und unten zu einem horizontalen Hebel führte. An dem einen Ende dieses Hebels war in horizontaler Ebene ein ungefähr $1^1/_2$ Zoll langer Querstab befestigt, und an den Enden dieses Querstabes, $8^1/_2$ Zoll von dem Bewegungsmittelpunkte, hingen die beiden Röhren mit Sauerstoff und Stickstoff (2772), denen durch ein Gewicht an dem anderen Arm des horizontalen Hebels das Gleichgewicht gehalten wurde. Das System war demnach in Bezug auf den mit dem doppelkegelförmigen Kern oder Anker (2764) versehenen Elektromagnet so eingestellt, dass die Mitte jeder Röhre sich in gleichem Niveau mit der Mitte des Kernes, in gleichem Abstande von jeder Seite desselben befand. Wenn unter diesen Umständen der Hebel an der Waage in Schwingungen versetzt wurde, so geschahen diese in Folge des Gewichtes des ganzen beweglichen Systems und der geringen Torsion der Coconfäden mit grosser Langsamkeit.

2774. Sowie der Magnetismus erregt wurde, änderte sich die Lage

der Dinge gänzlich. Die Sauerstoffröhre wurde sofort nach innen, gegen die Axe getrieben, und die Stickstoffröhre nach aussen auf die entgegengesetzte Seite. Die Waage schwang über ihre neue Ruhelage hinaus, kehrte dann mit beträchtlicher Kraft zurück und vollführte mehrere Schwingungen in der Zeit, in welcher sie vorher nur eine einzige Schwingung ausgeführt hatte. Wenn sie dann zur Ruhe oder in ihre stabile Gleichgewichtslage gekommen war, so betrug der Abstand der Sauerstoffröhre von dem Eisenkern ungefähr ein achtel Zoll, der der Stickstoffröhre vier achtel Zoll. Zehn Umdrehungen der Torsionsaxe änderten diese relativen Abstände nur in geringem Grade.

2775. Die Vorgänge, welche die gegenseitige Selbsteinstellung des Sauerstoffs und Stickstoffs, was ihre Lage in Bezug auf die magnetische Axe betrifft, bedingen, sind sehr einfach und klar. Zunächst ist das *Glas* der Röhren stärker diamagnetisch als das umgebende Medium, die Luft (2424), und daher haben beide das Bestreben, sich nach aussen zu bewegen; da sie aber von gleicher Natur und Beschaffenheit sind, so suchen sie sich bei gleichen Abständen mit gleicher Kraft zu bewegen und compensiren in diesem Falle einander. Wenn eine derselben nach innen getrieben wird, so gelangt sie, indem sie an eine Stelle des Magnetfeldes von grösserer Intensität kommt, in den Bereich einer stärkeren Kraftwirkung, während die andere, die zu gleicher Zeit nach aussen getrieben wird, aus einem entsprechenden Grunde an einen Ort schwächerer Wirkung gelangt. Sobald nun der Zwang aufgehoben wird, kehrt das System in seine stabile Gleichgewichtslage zurück, in welcher die beiden Körper sich in gleichem Abstande von der magnetischen Axe befinden.

2776. Auch der *Inhalt* der Röhren unterliegt den magnetischen Kräften, und wie das Resultat zeigt (2774), in sehr verschiedenem Grade. Entweder hat der Sauerstoff ein kräftigeres Bestreben, nach innen zu gehen, als der Stickstoff, oder der Stickstoff ein stärkeres Bestreben, nach aussen zu gehen, als der Sauerstoff; der Unterschied selbst muss sehr gross sein, denn er ist derart, dass das Glas der Sauerstoff enthaltenden Röhre in eine der Axe so nahe Lage gebracht wird, die es an und für sich, oder wenn die Röhre nur Luft enthielte, ohne Ausübung eines starken Zwanges nicht einen Augenblick würde beibehalten können. Die Kraft, mit welcher die Röhren für sich in ihrer äquidistanten Lage verharren würden, sowie die Grösse der Verschiebung aus dieser Lage zeigt die Grösse der Kraft, welche die vereinte Wirkung des Sauerstoffs und Stickstoffs in der einen Richtung, nämlich vom Sauerstoff nach innen, oder in axialer Richtung entwickelt; denn wiewohl der Vorgang complicirt ist, so ist doch das Resultat einfach. Aus früheren Versuchen ist bekannt, dass in Luft der Stickstoff äquatorial, der Sauerstoff axial geht[1]), und zwar wird die Stickstoffröhre äquatorial

---

[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, p. 409.

gehen in Folge einer gewissen Differentialkraft, die einerseits von dem Flintglas und dem Stickstoff, andererseits von dem durch diese verdrängten Luftvolumen bedingt ist. Ebenso wird die Sauerstoffröhre das Bestreben haben, axial zu gehen, vermöge einer Differentialkraft, deren Grösse von dem axialen Bestreben des Sauerstoffs, von der äquatorialen Tendenz der Röhre und von der vereinten Beziehung beider zu der von ihnen verdrängten Luft abhängt. Allein die Röhren und ihr Inhalt hängen durch ihre gemeinsame Beziehung zu der Luft und durch ihre mechanische Verbindung so mit einander zusammen, dass, wenn man eine Kraft (wie die der Torsion) aufwendet, um ihre äquidistante Lage zur magnetischen Axe wiederherzustellen, es überflüssig wird, die Substanz der Röhren und die Luft als umgebendes Medium irgend in Betracht zu ziehen. Man kann die in ihnen enthaltenen Gase als in unmittelbarer Beziehung zu einander und zur magnetischen Axe stehend und frei von allen anderen Einwirkungen betrachten, und die Kraft, welche erforderlich ist, um sie in die *äquidistante* Lage zu bringen, ist das Maass ihrer magnetischen oder diamagnetischen Differenzen.

2777. Nachdem ich so die allgemeinen Principien der Wirkung auseinandergesetzt habe, will ich nun auf ihre Anwendung zur Construction eines Messapparates und zu den mit demselben erlangten Resultaten eingehen, weiter als es zum allgemeinen Verständniss der magnetischen und diamagnetischen Körper und zu der Bestimmung des wahren Nullpunktes (2721, 2722) erforderlich ist.

2778. Die eben beschriebenen Principien ermöglichten es mir, eine Untersuchungsmethode wieder aufzunehmen, welche mir früher grosse Hoffnungen erweckt hat (2433), aber plötzlich als unvermögend abgeschnitten schien. Verschiedene Körper, magnetische oder diamagnetische, gestatten zweierlei Behandlungsweisen, welche hinsichtlich ihrer Eigenschaften und ihrem Zwecke im Haushalt der Natur ausserordentlich instructiv zu sein versprechen. Man kann ein Gas *erwärmen* oder *abkühlen* und den bekanntlich sehr grossen Einfluss der Temperatur [1]) ermitteln, ohne das Volumen des Gases zu ändern; oder man kann es innerhalb sehr weiter Grenzen *verdünnen* und *verdichten* und den Einfluss einer solchen Aenderung unabhängig von der Temperatur und der Gegenwart einer anderen Substanz feststellen. Auf feste und flüssige Körper sind diese Untersuchungsmethoden nicht anwendbar, und sie eignen sich daher nicht so gut wie die Gase zur Bestimmung des Nullpunktes und der wahren Unterscheidung von magnetischen und diamagnetischen Körpern.

2779. Es schien mir, dass die magnetischen Eigenschaften eines Gases sich mit der Verdünnung desselben abschwächen müssten, d. h. dass gleiche Volumina eines magnetischen Gases bei verschiedenem Druck um so stärker

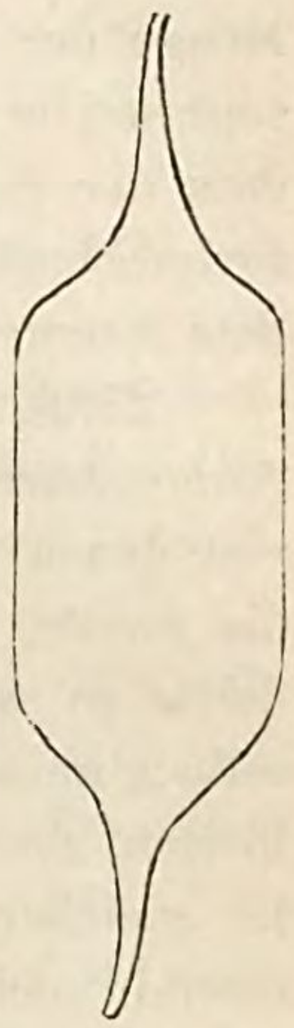
---

[1]) Philosophical Magazine, **1847**, vol. XXXI, pp. 406, 417.

magnetisch sein müssten, je dichter sie wären, und dass ebenso der Diamagnetismus eines Gases durch Verdünnung schwächer werden und im Vacuum verschwinden müsste. Mit anderen Worten, wenn zwei Mengen eines und desselben magnetischen Gases, von denen die eine in verdünnterem Zustande sich befände als die andern, gleichzeitig der Magnetkraft ausgesetzt würden, so müsste die *dichtere* sich der axialen Linie nähern oder nach dem Orte stärkster Wirkung gedrängt werden, während von zwei ähnlich gelegenen Mengen eines diamagnetischen Gases, die derselben magnetischen Kraft ausgesetzt wären, die ausgedehntere oder *verdünntere* Gasmenge nach innen, zu dem Orte stärkster Wirkung gehen müsste.

2780. Mehrere mit Sauerstoff gefüllte Röhrchen (Fig. 8) von ähnlicher Einrichtung wie die oben beschriebenen (2722) und von nahezu gleicher Grösse wurden, nachdem die darin enthaltene Gasmenge mittelst der Luftpumpe auf einen gewissen Grad der Verdünnung gebracht worden war, hermetisch verschlossen. In dem ersten befand sich das Gas unter dem Drucke einer Atmosphäre; in dem zweiten unter dem Drucke einer halben Atmosphäre oder von 15 Zoll Quecksilber; in dem dritten unter dem Drucke von 10 Zoll Quecksilber, und in der vierten wurde ein so gutes Vacuum erzeugt, als mit einer vorzüglichen Luftpumpe zu erreichen war. Eine Vergleichung der ersten mit den drei übrigen ergab ein auffallendes Resultat. Dem unter einem halben Atmosphärendruck stehenden Gase gegenüber, ging sie gegen die Axe hin und trieb das ausgedehntere Gas fort; gegenüber dem Gase von einem Drittel Atmosphärendruck bewegte sie sich noch kräftiger nach innen oder axial; gegenüber dem Sauerstoff von stärkster Verdünnung, stellte sie sich dem Eisenkern so nahe wie früher bei der Gegenüberstellung mit Stickstoff (2774), und offenbar war es daher einzig und allein der Diamagnetismus der den Sauerstoff einschliessenden Glasröhre (2775), was diesen verhinderte, sich gegen den die Mitte des Magnetfeldes einnehmenden Eisenkern zu drängen.

Fig. 8.



2781. Die Versuche mit den anderen Röhren ergaben genau dasselbe Resultat. So ging die Röhre mit Gas unter einem drittel Atmosphärendruck nach innen und trieb die mit ihr verbundene Vacuumröhre nach aussen, d. h. sie war stärker magnetisch als diese; aber in Verbindung mit der Gasröhre unter einem halben Atmosphärendruck ging sie nach aussen, während das dichtere Gas nach innen ging. Jede Röhre, verbunden mit einer anderen, die verdünnteres Gas enthielt, ging nach innen oder wie ein Magneticum, während sie in Verbindung mit anderen, die dichteres Gas enthielten, nach aussen ging, indem sie durch die stärkere magnetische Kraft des dichteren Gases nach aussen getrieben wurde. So weit ich bei diesen vorläufigen Versuchen feststellen konnte, schien die Tendenz, nach

innen oder axial zu gehen, proportional der Dichtigkeit des Gases zu sein; die genaue Messung der Kräfte soll jedoch später mitgetheilt werden.

2782. Sauerstoff scheint also eine stark magnetische Substanz zu sein, denn er verschiebt sich axial oder geht mit beträchtlicher Gewalt von Punkten schwächerer zu Punkten stärkerer Kraft, und dies ist ein im Einklang mit dem Resultate früherer Beobachtungen stehender Schluss.[1]) Ueberdies ist die Verschiebung stärker, wenn er dichter ist, so dass sein Bestreben, nach innen zu gehen, anscheinend seiner Dichtigkeit proportional ist. Daher verschwindet mit der Fortschaffung des Sauerstoffs die magnetische Kraft, und bei stärkster Verdünnung bleibt nur eine geringe oder gar keine Anziehung nach innen zurück. Freilich kann man sagen, dass dichterer Sauerstoff schwächer diamagnetisch ist als verdünnter oder als ein Vacuum. Dies würde jedoch zugleich bedeuten, dass die wirkende Kraft einer Substanz wie Sauerstoff in dem Maasse zunehme, als die Menge der Substanz geringer wird, eine Annahme, die mir nicht philosophisch erscheint; überdies wird sich bald aus anderen Gründen ergeben, dass der magnetische Zustand, welcher verschwindet, sowie der Sauerstoff fortgeschafft wird, dieser Substanz angehört und von ihr bedingt ist, und dass Sauerstoff demnach wirklich eine magnetische Substanz ist.

2783. Nun wurde *Stickstoff*, der zweite und grössere Bestandtheil der Atmosphäre, dem Versuche unterworfen und hierzu drei Röhren verwandt, von denen die eine das Gas unter einem Drucke von 30 Zoll Quecksilber, die zweite unter einem Drucke von 15 Zoll Quecksilber enthielt und die dritte so weit als möglich evacuirt war (2780). Eine Vergleichung derselben im magnetischen Felde ergab, dass sie sich so nahezu gleich verhielten, dass sie nicht von einander zu unterscheiden waren, d. h. dass sie in gleichem Abstande von der magnetischen Axe verharrten. Ich will hiermit nicht sagen, dass Stickstoff unter verschiedenem Druck bei gleichem Volumen sich absolut gleich verhalte (ein eben in Arbeit befindliches Instrument wird mich späterhin in den Stand setzen, die Vergleichung und Messung mit unendlich grösserer Genauigkeit auszuführen und diese Punkte festzustellen), aber im Vergleich zu Sauerstoff verursachen die grossen und ausserordentlichen Verschiedenheiten, welche dort die Verdünnung hervorbringt, hier keine entsprechenden Differenzen. Wenn es überhaupt welche giebt, so sind sie vorläufig unmerklich und können für den Hauptzweck dieser Abhandlung und die Bestimmung des Nullpunktes zwischen magnetischen und diamagnetischen Substanzen als nicht existirend angesehen werden.

2784. Stickstoff scheint also weder magnetisch noch diamagnetisch zu sein. Wäre er eins von beiden, so müsste sich seine specifische Eigenschaft bei der Verdünnung offenbaren; er verhält sich also wie ein Vacuum.

---

[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, pp. 410, 415.

Denken wir uns einen leeren Raum, in den Sauerstoff oder Stickstoff allmählich eingeführt wird, so wird der Raum in dem Maasse als Sauerstoff zugeführt wird, stärker und stärker magnetisch werden, d. h. geeigneter, die durch dieses Wort bezeichnete Art der Wirkung anzunehmen; allein eine entsprechende Zuführung von Stickstoff in einen leeren Raum hat keinen Erfolg dieser oder entgegengesetzter Art, und der Stickstoff ist daher weder magnetisch noch diamagnetisch, sondern verhält sich wie der Raum selbst.

2785. Bisher habe ich auf der diamagnetischen Seite des Nullpunktes noch kein Gas gefunden, welches sich mit dem Sauerstoff in Bezug auf den durch Verdünnung herbeigeführten Effect irgend vergleichen lässt. Vorläufig kann ich nur ölbildendes Gas und Cyan als Substanzen nennen, welche bei stärkerer Verdünnung nach innen oder gegen die axiale Linie zu gehen scheinen. Sie liegen also nicht auf dem Nullpunkte, sondern auf der dem Sauerstoff entgegengesetzten Seite und sind diamagnetische Körper. Als Substanzen, welche stark und unleugbar diamagnetisch sind, und die bei Einführung in den Raum denselben diamagnetisch machen, wie der Sauerstoff ihn magnetisch macht, wären Flintglas und Phosphor zu nennen. Wenn diese Substanzen von gleichem Volumen wie Stickstoff mit diesem oder mit dem Vacuum von gleicher Grösse und Gestalt an der Torsionswaage verglichen werden, so gehen sie mit grosser Kraft auswärts, und wahrscheinlich ist es der starke Diamagnetismus des Glases der Röhren, welcher verhindert, dass der Erfolg der Verdünnung beim ölbildenden Gase und anderen Gasen deutlicher wird, als er in Wirklichkeit ist.

2786. Wenn eine Röhre mit einem Gase gefüllt, dann so stark als möglich ausgepumpt und hermetisch verschlossen wird, so kann man annehmen, dass sie ein gewöhnlich so genanntes Vacuum enthält. Ich habe viele solcher Vacua hergestellt und ich möchte mir erlauben, sie nach dem Gase zu benennen, von welchem noch Spuren darin zurückgeblieben sind. Beim Vergleiche dieser Vacua im magnetischen Felde (2773) schienen sie mir alle sich gleich zu verhalten. Das Sauerstoff-Vacuum war nicht mehr magnetisch als das Vacuum des Wasserstoffs, Stickstoffs oder ölbildenden Gases. Die Unterschiede, wenn es überhaupt welche gab, waren weit geringer als die, welche sich durch Aenderungen der Grösse und anderer Zustände des Glases hervorrufen liessen und können nur durch die später angewandten Mittel (2783) sichtbar gemacht werden, und ich bin völlig überzeugt, dass man sie schliesslich nahezu gleich finden wird, und dass sie sich gänzlich dem Verhalten eines *vollkommenen* Vacuums *nähern*.

2787. Ehe wir den Nullpunkt zwischen magnetischen und diamagnetischen Körpern bestimmen, haben wir den wahren Charakter und das Verhalten eines von jeder materiellen Substanz freien *Raumes* zu betrachten. Wir sind zwar nicht im Stande, einen von Materie vollkommen freien Raum herzustellen, aber wir können uns ihm doch durch ein sorgfältig dargestelltes Torricelli'sches Vacuum nähern. Ich brauche am Ende kaum zu bemerken,

dass Eisen und Wismuth in solchem Vacuum dem Magnet vollkommen gehorchen. Aus solchen Versuchen, sowie aus allgemeinen Betrachtungen und Erfahrungen geht offenbar hervor, dass die magnetischen Kraftlinien (2149) den leeren Raum ebenso durchdringen können, wie es die Schwerkraft und die elektrostatischen Kräfte thun (1616), und daher hat der Raum eine eigene magnetische Relation, die wir wahrscheinlich späterhin als von der äussersten Wichtigkeit für die Naturerscheinungen finden werden. Allein dieser Charakter des Raumes ist nicht von der Art, wie der, welchen wir in Bezug auf Materie durch die Bezeichnungen magnetisch und diamagnetisch auszudrücken suchen. Sie zusammenwürfeln, hiesse den Raum mit Materie zusammenwerfen, und alle die Begriffe verwirren, durch welche wir ein immer klareres Verständniss der Wirkungsweise und der Gesetze der Naturkräfte zu erlangen suchen. Es wäre gerade so, wie wenn man hinsichtlich der Gravitation oder der elektrischen Kräfte (1613) die auf einander wirkenden Theilchen mit dem Raume, durch welchen sie wirken, verwechseln würde, was, wie ich glaube, dem Fortschritt die Thür verschliessen würde. Der Raum an sich kann nicht wie Materie wirken, selbst wenn man der Hypothese eines Aethers den weitesten Spielraum gestattet. Bei dieser Hypothese gelangte man zu der weiteren umfassenden Annahme, dass die magnetischen Kraftlinien Schwingungen des Aethers seien (2591), während wir doch bisher keinen Beweis oder Anhalt haben, dass zu ihrer Fortpflanzung Zeit erforderlich ist, oder darüber, in welcher Hinsicht sie in ihrem allgemeinen Charakter den Linien der Gravitation, des Lichtes oder der elektrischen Kräfte ähnlich oder unähnlich sind.

2788. Man kann auch nicht voraussetzen, dass um durch den Raum zerstreute Punkte solche Ströme kreisen, wie sie Ampère's Theorie um die Theilchen gewöhnlicher magnetischer Substanzen annimmt, und deren Existenz, nur von entgegengesetzter Richtung, um die Theilchen diamagnetischer Substanzen ich selbst früher einmal angenommen hatte (2429, 2640 etc.). Der durch philosophische Vorstellungen gezügelten Einbildungskraft gelingt es nicht, im leeren Raume etwas ausfindig zu machen, um das die Ströme kreisen könnten, oder an das sie durch irgend einen Zusammenhang gebunden wären. Und noch grösser wäre die Schwierigkeit, wenn sie nicht bereits unermesslich ist, für diejenigen, welche etwa meinen sollten, dass magnetische und diamagnetische Körper von gleicher Natur seien, und damit zugleich annehmen müssten, dass die Ströme in beiden gleich seien; denn es erscheint nicht möglich, dass ein Zusatz (beispielsweise) von Phosphor, der eine solche magnetische Constitution besitzt, zu dem Raume, der ähnlich constituirt vorausgesetzt wird, eine Verringerung der magnetischen Kräfte dieses Raumes zur Folge haben sollte.

2789. Da also der Raum selbst ein von der Materie unabhängiges und andersartiges Verhalten hat, so müssen die verschiedenen materiellen Substanzen hinsichtlich ihrer Eigenschaften unter einander in Betrachtung

gezogen werden. Diejenigen, deren Einführung in den Raum ohne Einfluss ist, scheinen mir neutral zu sein oder im Nullpunkte zu liegen. Diejenigen, welche einen Effect der einen Art hervorbringen, liegen auf der einen Seite, und diejenigen, welche eine Wirkung entgegengesetzter Art geben, liegen auf der anderen Seite des Nullpunktes; sie bilden somit die zwei Klassen von Körpern, die magnetische und die diamagnetische. Das Gesetz, welches ich früher aufzustellen mir erlaubt habe (2267, 2418), drückt noch genau ihre Beziehungen aus; denn in einem absoluten Vacuum oder freien Raum sucht ein magnetischer Körper von Punkten schwächerer zu Punkten stärkerer magnetischer Wirkung zu gehen, ein diamagnetischer Körper unter denselben Umständen umgekehrt von Orten stärkerer zu Orten schwächerer Wirkung.

2790. Nunmehr, nachdem wir den *wahren Nullpunkt* gefunden und für die grosse Mannigfaltigkeit der materiellen Substanzen eine befriedigende Eintheilung in zwei Hauptklassen gewonnen haben, brauchen wir, glaube ich, um Verwirrung zu vermeiden, für die magnetische Körperklasse einen anderen Namen. Das Wort *magnetisch* muss allgemein gelten und *alle* durch jenes Agens hervorgerufenen Erscheinungen und Wirkungen umfassen. Dann brauchen wir aber eine Bezeichnung für die der diamagnetischen Klasse gegenüberstehende Gruppe. Da die Sprache dieses Wissenschaftszweiges vielleicht bald eine allgemeine und sorgfältige Abänderung verlangt, so habe ich unter dem Beistande eines Freundes geglaubt, dass auch ein nicht mit besonderer Sorgfalt ausgewähltes Wort vorläufig von Nutzen sein könnte; und da der Magnetismus des Eisens, Nickels und Cobalts im Magnetfelde gleich dem der Erde in ihrer Gesammtheit ist, so dass sie sich, wenn sie magnetisirt sind, der Axe oder den magnetischen Kraftlinien derselben parallel stellen, so meinte ich, sie und die sich ähnlich verhaltenden Körper (nunmehr auch Sauerstoff) füglich paramagnetische nennen und somit folgende Eintheilung aufstellen zu dürfen:

$$\text{Magnetisch} \begin{cases} \text{Paramagnetisch,} \\ \text{Diamagnetisch.} \end{cases}$$

Sollte dieser Versuch, die Verständigung zu erleichtern, nicht angenommen werden, so wird man ihn doch hoffentlich entschuldigen.

2791. Vermöge der Gegenwart des Sauerstoffs in der Luft ist letztere in ihrer Gesammtheit ein magnetisches Medium von nicht geringer Kraft. Daher verlangen alle die vergleichenden Versuche über den Diamagnetismus anderer Gase, die so angestellt sind, dass man diese durch die Luft oder durch einander strömen lässt,[1]) eine Berichtigung, welche am Ende manchen dieser Körper auf die paramagnetische Seite des Nullpunktes bringen kann. Dieser Einfluss kann sich selbst auf feste und flüssige Körper erstrecken und die früher aufgestellte vorläufige Reihe (2424) wird in dieser Hin-

[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, pp. 407, 420 etc.

sicht einer Aenderung bedürfen. Ich hoffe jedoch bald in der Lage zu sein, nicht bloss den Ort der Körper, sondern auch ihre relativen Stärkegrade bei derselben und bei verschiedener Temperatur mit einem solchen Grade von Genauigkeit festzustellen, dass sich für die fernere Entwickelung dieses Wissenschaftszweiges grosser Nutzen daraus wird ziehen lassen.

2792. Unter den bisher untersuchten Gasen giebt es keins, welches sich mit dem Sauerstoff vergleichen liesse. Neben ihm sind die folgenden verhältnissmässig indifferent: Chlor, Bromdampf, Cyan, Stickstoff, Wasserstoff, Kohlensäure, Kohlenoxyd, ölbildendes Gas, Stickoxydul, Stickoxyd, salpetrigsaurer Dampf, Chlorwasserstoffsäure, schweflige Säure, Jodwasserstoffsäure, Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Steinkohlengas, Aetherdampf und Schwefelkohlenstoffdampf; denn obwohl einige von ihnen, wie ölbildendes Gas und Cyan, etwas diamagnetisch zu sein scheinen, und andere, wie Stickoxydul und Stickoxyd magnetisch sind, so verschwinden doch ihre Wirkungen im Vergleich zu der des Sauerstoffs.

2793. Den genauen Ausdruck für die paramagnetische Kraft des Sauerstoffs hoffe ich später zu geben (2783), inzwischen kann ich nicht umhin, an dieser Stelle einige rohe Beispiele ihrer Stärke einem früheren (2774) hinzuzufügen. Der Rauminhalt der mit Sauerstoff unter dem Drucke einer Atmosphäre gefüllten Röhre beträgt nicht ganz 0,34 Cubikzoll, mithin ist das Gewicht des darin enthaltenen Sauerstoffs 0,117 Gran. Diese Menge suchte ich zunächst mit weichem Eisen zu vergleichen. Zu diesem Zwecke brachte ich ein Stück dieses Metalls, das nur den zehnten Theil der ersteren oder 0,012 Gran wog, an einem dünnen Platindraht in die Mitte eines Gefässes von entsprechender Grösse wie das Sauerstoff enthaltende; der Platindraht wurde in der Mündung des Gefässes befestigt und dieses darauf ausgepumpt und hermetisch verschlossen. Der Sauerstoffröhre im magnetischen Felde gegenübergestellt, zeigte es sich, wie zu erwarten war, dem Sauerstoff an magnetischer Kraft weit überlegen. Da es unbequem war, das Gewicht des Eisens noch zu verkleinern oder das des Sauerstoffs zu vergrössern, so benutzte ich eine andere magnetische Substanz zum Vergleiche.

2794. Hundert Gran reinen, guten, krystallisirten Eisenvitriols wurden in destillirtem Wasser gelöst und verdünnt, bis ein Glaskolben, mit der Lösung gefüllt, von nahezu gleicher Grösse wie der Sauerstoffkolben, diesem an magnetischer Kraft gleichkam, indem beide, soweit ich mit den gegenwärtigen Beobachtungsmitteln beurtheilen konnte, gleich weit vor der axialen Linie abstanden. Das Volumen der so verdünnten Lösung betrug $17^1/_2$ Cubikzoll. Da das Sauerstoffvolumen nur 0,34 Cubikzoll betrug (2793), so würde ein solches Volumen der Lösung sehr nahe 2 Gran krystallisirtes Eisenvitriol enthalten, was 0,4 Gran metallischen Eisens entspricht; demnach ist bei gleichem Volumen Sauerstoff ebenso magnetisch wie eine Lösung von Eisenvitriol in Wasser, die das siebzehnfache Gewicht

des Sauerstoffs an krystallisirtem Eisenvitriol oder das 3,4fache Gewicht an metallischem Eisen in diesem Verbindungszustande enthält.

2795. Ferner wurden Röhren, welche Sauerstoff respective unter dem Druck einer Atmosphäre und im Zustande höchster Verdünnung (2780) enthielten, einen Zoll von einander entfernt zu beiden Seiten der magnetischen Axe aufgestellt, und der Magnet erregt. Der Sauerstoff näherte sich natürlich der magnetischen Axe, während das Vacuum äquatorial fortging. Die Sauerstoffröhre wurde mit einem vor der Lampe ausgezogenen und auf einem Fusse befestigten, 6 Zoll langen dünnen Glasfaden in ihre ursprüngliche Lage zurückgestossen und in gleichen Abstand wie die Vacuumröhre von der magnetischen Axe gebracht. In dieser Lage würden die beiden Röhren, insoweit das Glas in Betracht kommt, einander neutralisiren (2775); und wenn man das Vacuum als Nullpunkt ansieht, so kann man den Sauerstoff allein als wirksam, und die Kraft, welche erforderlich ist, um ihn festzuhalten, als die Kraft ansehen, mit welcher der Sauerstoff bei dem Abstande von einem halben Zoll zu der magnetischen Axe zu gehen suchte. Die Biegung des Glasfadens oder der Feder an dem Orte, wo sie die Sauerstoffröhre festhielt, um ihre Ruhelage, in der sie keinen Druck gegen die Röhre ausübte, betrug etwas mehr als einen Zoll. Nun wurde er dort fortgenommen, in horizontale Lage gebracht (nachdem er um 90^0 um seine Axe gedreht war, damit die Biegung in derselben Richtung stattfinde wie vorher) und, nachdem die Lage des Endes notirt war, an der Stelle, wo er früher die Sauerstoffröhre berührt hatte, mit Gewichten beschwert, bis die Biegung denselben Betrag erreicht hatte wie vorher. Hierzu war etwas mehr als $^1/_{10}$ Gran erforderlich, was, wenn man erwägt, dass der gesammte Sauerstoff nur ein Gewicht von 0,117 Gran hatte und kein Theil desselben der magnetischen Axe näher als einen halben Zoll lag, der mittlere Abstand von ihr aber mehr als einen halben Zoll betrug, einen hohen Begriff von dem Magnetismus desselben giebt.

2796. Ich brauche kaum zu sagen, dass der Sauerstoff, der einen so bemerkenswerthen und hohen Grad von Magnetismus zeigt, nicht in der Atmosphäre existiren kann, ohne einen sehr bedeutenden Einfluss auf die Vertheilung des Magnetismus unseres Planeten, der Erde, auszuüben, besonders wenn man bedenkt, dass sein Magnetismus sich mit der Dichtigkeit (2781) und der Temperatur beträchtlich ändert.[1]) Ich glaube hierin die wahre Ursache der mannigfachen Veränderlichkeit dieser Kraft zu erblicken, welche man an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche mit so grosser Sorgfalt verfolgt hat und verfolgt. Dies gilt sowohl von der täglichen wie von der jährlichen Abweichung, ebenso wie von sehr vielen der unregelmässigen, fortwährenden Abweichungen, welche die photographische Registrirmethode so schön hervortreten lässt. Wenn sich diese Ver-

---

[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, p. 417.

muthung bestätigen und sich zeigen sollte, dass die Atmosphäre wirklich einen solchen Einfluss auszuüben vermag, dann werden wir wahrscheinlich eine neue Beziehung zwischen dem Nordlicht und dem Erdmagnetismus erkennen, nämlich eine mehr oder weniger durch die Luft selbst im Zusammenhang mit dem Raum über ihr hergestellte Beziehung. Ja, bisher ungeahnte magnetische Beziehungen und Veränderungen werden sich bei weiterer Entwickelung dessen, was ich mir *Atmosphärischen Magnetismus* zu nennen erlauben will (2847 etc.), vermuthen, erkennen und messen lassen. Vielleicht bin ich in diesen Erwartungen zu sanguinisch, allein bis jetzt bestärkt mich darin die anscheinende Realität, Einfachheit und Hinlänglichkeit der vorausgesetzten Ursache, wie sie sich mir gegenwärtig darstellt. Sobald ich diese Ansichten eingehend erwogen, an den Beobachtungen und womöglich auch an Versuchen geprüft haben werde, werde ich mich beehren, sie der Royal Society vorzulegen.

Royal Institution,
2. August 1850.

SECHSUNDZWANZIGSTE REIHE.[1])

§ 32. Magnetisches Leitungsvermögen. I. Magnetische Leitung. II. Leitungspolarität. III. Magnekrystallische Leitung.

§ 33. Atmosphärischer Magnetismus. I. Allgemeine Principien.

Eingegangen am 9. October[2]), — Gelesen am 28. November 1850.

I. Magnetische Leitung.

2797. Die in einer früheren Reihe dieser Untersuchungen (2757 etc.) mitgetheilten merkwürdigen Resultate, dass gewisse gasförmige Körper, je nach ihrer Beziehung zu anderen gleichzeitig anwesenden Substanzen, ein starkes Bestreben haben, entweder zu der Mittellinie der magnetischen Kraft hin oder von ihr fort zu gehen, jedoch ohne sich dabei zu verdichten oder auszudehnen (2756), — was man aber doch als Folge einer anziehenden oder abstossenden Kraft von gewisser Grösse, die zum Entstehen einer solchen Tendenz und zum Hindrängen nach bestimmten Stellen für nöthig zu erachten wäre, vermuthen durfte — haben mich bei weiterem Nachdenken zu der Idee geführt, dass alle diese Erscheinungen sich am Ende aus der Annahme eines *verschiedenen Leitungsvermögens* dieser Körper für Magnetismus erklären lassen. Ja, wenn man diese Vorstellung gelten lässt, so könnte sie die Einsicht in die Natur der Magnetkraft fördern helfen. Ich wage daher über diesen Gegenstand eine Weile zwanglos zu denken und zu sprechen, um Anderer Nachdenken hierüber zu erregen, wiewohl ich dabei Gefahr laufe, wegen Unvollkommenheit der Versuche und Schlussfolge in Irrthum zu verfallen. Ich fasse jedoch die Sache vorläufig nur hypothetisch auf und gebrauche das Wort *Leitungsvermögen* als einen allgemeinen Ausdruck für die etwaige Fähigkeit der Körper, den Durchgang der magnetischen Kraft zu beeinflussen, ohne dabei über die Art des Leitungsvorganges etwas

---

[1]) Philosophical Transactions, 1851, p. 29.

[2]) Vom Verfasser nochmals durchgesehen und am 12. November 1850 wieder eingereicht.

auszusagen. Mit dieser Beschränkung seines Sinnes kann das Wort sehr nützlich sein, indem es uns in den Stand setzt, eine grosse Klasse von Erscheinungen unter einen allgemeinen, in sich begründeten Gesichtspunkt zusammenzufassen; es kann als eine Norm für unsere Vorstellung dienen, ohne nothwendig einen Irrthum zu enthalten, denn was auch immer das Wesen und der Vorgang der Leitung sein mag, so müssen doch die darauf beruhenden Erscheinungen unter sich übereinstimmen.

2798. Wenn ein Medium von einem gewissen Leitungsvermögen sich im magnetischen Felde befindet und ein anderes Medium oder eine andere Substanz von grösserer Leitungsfähigkeit in das Feld gebracht wird, so wird die letztere dem Orte stärkster Kraft zustreben und das erstere Medium verdrängen. Dies ist wenigstens der Fall bei Körpern, welche zweifellos magnetisch sind, wie Eisen, Nickel, Cobalt und deren Verbindungen (2357, 2363, 2367 etc.), und ein solcher Vorgang ist auch analog den durch elektrische Induction hervorgerufenen Erscheinungen. Tritt ein Körper von noch höherem Leitungsvermögen hinzu, so wird er sich der axialen Linie nähern und den eben dorthin gegangenen verdrängen, so dass es scheint, als würde durch diese Art von Differentialwirkung (2367, 2414) ein Körper von gewissem Leitungsvermögen in einem Medium von schwächerem Leitungsvermögen angezogen, und in einem Medium von stärkerem Leitungsvermögen abgestossen.

2799. Dieser Begriff von Leitung giebt nicht bloss Rechenschaft von dem Ort, den eine Substanz einnimmt, wie dass Sauerstoff in Stickstoff die axiale Linie aufsucht, Stickstoff in Sauerstoff sich von ihr entfernt, sondern er stimmt zugleich auch mit der Thatsache überein, dass in einem einzelnen, das magnetische Feld erfüllenden Gase keine Strömungen auftreten (2754), da alsdann jedes Theilchen so gut leiten kann wie ein anderes und daher seine Stelle behauptet; er steht, glaube ich, ebenso im Einklang mit der Unveränderlichkeit des Volumens (2750).

2800. In letzterer Hinsicht haben wir zu bedenken, dass die Kraft, welche einen Körper wie Sauerstoff gegen die Mitte des magnetischen Feldes hindrängt, keine Centralkraft wie die Schwere oder die gegenseitige Anziehung einer Reihe von Theilchen ist, sondern eine axiale Kraft, welche von ganz anderem Charakter in Richtung der Axe als in Richtung der Radien ist, auch ihre Wirkung ganz anders ausüben kann und muss als eine rein centrale Kraft. Dass solche Unterschiede vorhanden sind, erkennt man aus der Wirkung durchsichtiger Körper auf einen Lichtstrahl im magnetischen Felde sowie auch aus dem gewöhnlichen Verhalten magnetischer Körper. Das ist auch vielleicht der Grund, wesshalb, wenn der Sauerstoff in Folge seines Leitungsvermögens nach der Mitte des Feldes gezogen wird, seine Theilchen doch nicht zusammengedrückt werden (2721) durch eine Kraft, die sonst eine solche Wirkung haben müsste (2766).

2801. Wenn also zwei gesonderte Mengen Sauerstoff oder Stickstoff

sich im magnetischen Felde befinden, so geht die eine nach innen, die andere nach aussen, ohne jegliche Verringerung oder Vergrösserung ihrer Volumina; das Resultat ist ein differentiales, da die beiden Massen in *Beziehung zu und in Abhängigkeit von* einander stehen, in Folge ihrer gleichzeitigen Beziehung zu den magnetischen Kraftlinien, welche durch beide zugleich gehen, oder durch sie und das gemeinschaftliche Medium, in dem sie sich befinden.

2802. In Bezug auf die Fortpflanzung der magnetischen Kraft durch den leeren Raum habe ich bereits gesagt (2787), dass dieser den Durchgang derselben gestattet, ohne dass man ihm hierbei eine dem Leitungsvermögen der Materie gleichartige Funktion zuschreiben darf, dass dies vielmehr analog der Art geschieht, wie die Linien der Schwerkraft oder der elektrostatischen Kraft den leeren Raum durchsetzen. Danach reihen sich die Körper, welche wie Sauerstoff den Durchgang dieser Kraft mehr oder weniger erleichtern, der Gruppe der magnetischen oder paramagnetischen Substanzen ein (2790), während diejenigen, welche, wie ölbildendes Gas und Phosphor, ihn mehr oder weniger hemmen, zu der Gruppe der Diamagnetica gehören. Vielleicht ist es nicht richtig, diese beiden Qualitäten mit dem Ausdruck *Leitung* zu bezeichnen; allein bei dem gegenwärtigen Stande dieser Frage und unter dem obigen Vorbehalt (2797) darf dieser Ausdruck, wie ich glaube, ohne Verwirrung anzurichten, der Bequemlichkeit wegen gebraucht werden.

2803. Wenn dies eine im Allgemeinen richtige Vorstellung von der Natur und dem Unterschiede der paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen giebt, so können die inneren Vorgänge, durch welche sie ihre Functionen ausüben, kaum dieselben sein, obwohl sie einander ähnlich sein mögen. So *wäre es möglich,* dass elektrische Ströme sie in entgegengesetzten Richtungen umkreisen, aber man kann ihre Verschiedenheit schwerlich auf eine Verschiedenheit der Stärke dieser Ströme von *gleicher* Richtung zurückführen. Obwohl die Resultate, welche man erhält, wenn zwei Körper sich gleichzeitig im magnetischen Felde befinden, als differentiale angesehen werden können (2770, 2768), selbst wenn einer von ihnen das allgemeine Medium ist, so ist doch, wenn die Ansicht richtig ist, ein *einzelner* Körper im Raume der magnetischen Kraft unterworfen, und die Folge davon ist, dass eine paramagnetische Substanz in einem magnetischen Felde von ungleichförmiger Intensität von Orten schwächerer zu Orten stärkerer Wirkung zu gehen sucht oder *angezogen* wird, ein diamagnetischer Körper unter denselben Umständen von Orten stärkerer zu Orten schwächerer Wirkung zu gehen strebt oder *abgestossen* wird (2756).

2804. Die Kräfte einer bestimmten Menge von Materie kann man entweder auf ihr Gewicht oder auf ihr Volumen beziehen. In dem gegenwärtigen Falle, wo die Wirkungen einen unmittelbaren Bezug zum Raume an sich haben (2787, 2802), scheint es mir, dass das Volumen die eigent-

liche Grundlage bilden, und dass man bei Vergleichung zweier Substanzen mit einander gleiche Volumina nehmen müsse, um richtige Resultate zu erhalten. Bei der Methode der Differential-Beobachtung könnte kein anderes Verfahren Anwendung finden (2772, 2780).

2805. Man darf mit Recht andere experimentelle Beweise als die der Lagenänderung für das Dasein des Leitungsvermögens erwarten, durch dessen Verschiedenheit ich die Eigenthümlichkeiten der paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen zu erklären suchte. Diese Beweise giebt es wirklich; allein da gewisse mit der Polarität zusammenhängende Betrachtungen mich abhalten, allzu getrost Eisen, Cobalt oder Nickel (2832) als erläuternde Beispiele zu nehmen, und da in anderen paramagnetischen sowohl als auch diamagnetischen Körpern die Erscheinungen sehr schwach sind, so werden sie später nach einer weiteren allgemeinen Betrachtung des Gegenstandes besser verstanden werden (2843).

2806. Ich will nun versuchen auseinanderzusetzen, welchen Einfluss paramagnetische und diamagnetische Körper, als Leiter betrachtet (2797), auf die Kraftlinien in einem magnetischen Felde ausüben. Jeder von magnetischen Kraftlinien durchschnittene Theil des Raumes kann für ein solches Feld genommen werden, und wahrscheinlich giebt es keinen Raum, der frei von ihnen wäre. Die Intensität des Feldes kann sich von Punkt zu Punkt, entweder in Richtung der Linien oder quer zu ihnen ändern; allein für die vorliegende Betrachtung wird es besser sein, ein Feld von überall gleicher Intensität anzunehmen, und ich habe früher beschrieben, wie man ein solches innerhalb eines begrenzten Raumes herstellen kann (2465). In einem solchen Felde variirt die Kraft weder in Richtung der Linien noch quer zu ihnen, aber die Unterscheidung der Richtung ist hier von so grosser Wichtigkeit wie überall, und ich habe sie bereits durch die Ausdrücke axial und äquatorial, je nachdem die Richtung parallel oder quer zur magnetischen Axe ist, gekennzeichnet.

2807. Wenn ein paramagnetischer Leiter, beispielsweise eine Kugel von Sauerstoff, in ein solches magnetisches Feld, das vorher frei von Materie

Fig. 1.

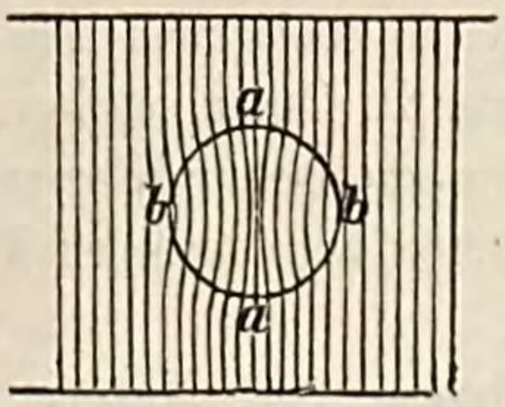
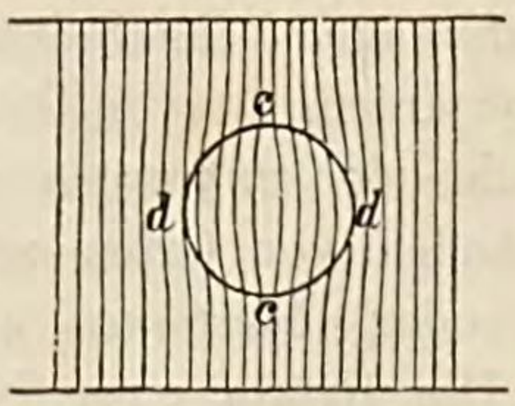


Fig. 2.



gewesen sein soll, eingeführt wird, so wird er eine Concentration der neben ihm und durch ihn gehenden Kraftlinien bewirken, so dass den von ihm erfüllten Raum mehr magnetische Kraft durchsetzt als vorher (Fig. 1). Eine

diamagnetische Substanz dagegen wird in einem ähnlichen Felde eine Divergenz oder Oeffnung der Linien in äquatorialer Richtung bewirken (Fig. 2) und durch den von ihr eingenommenen Raum wird weniger magnetische Kraft hindurchgehen, als wenn sie nicht vorhanden wäre.

2808. Man sieht demnach, dass diese beiden Körper so *erstlich* die *Richtung* der Kraftlinien beeinflussen, nicht bloss innerhalb des von ihnen eingenommenen Raumes, sondern auch in dem benachbarten Raume, in Richtung der Verlängerung der sie durchsetzenden Linien; und diese Aenderung im Verlaufe der Linien ist in dem einen Falle von entgegengesetztem Sinne als in dem anderen.

2809. *Zweitens* werden sie die *Grösse* der Kraft an jeder Stelle des Raumes in oder neben ihnen beeinflussen; denn da in jedem Querschnitt der Linien eines solchen magnetischen Feldes die Kraft eine bestimmte Grösse haben und in dieser Beziehung jedem anderen Querschnitt gleich sein muss, so kann die Sauerstoffkugel (Fig. 1) unmöglich eine Concentration auf sich selbst veranlassen, ohne zugleich in den ausser ihr axial gelegenen Stellen, wie in aa, eine Concentration, und in den äquatorial gelegenen Stellen bb eine Verminderung zu verursachen. Der diamagnetische Körper (Fig. 2) wird umgekehrt in den in Bezug auf ihn axial gelegenen Theilen des Raumes cc eine Schwächung der magnetischen Kraft und in den nahe gelegenen äquatorialen Theilen dd eine Verstärkung derselben bewirken. Denkt man sich das magnetische Feld begrenzt durch die Flächen des die gegenüberstehenden Pole bildenden Eisens (2465), so wird sogar die Vertheilung des Magnetismus selbst im Innern des Eisens durch die Gegenwart der paramagnetischen oder diamagnetischen Körper beeinflusst sein, und dies wird in der That in sehr grossem Maasse geschehen, wenn aus der paramagnetischen Klasse Körper wie Eisen, Nickel oder Cobalt genommen werden.

2810. Der Einfluss dieser Störung der Kräfte auf die Lage eines paramagnetischen oder diamagnetischen Körpers im magnetischen Felde lässt sich leicht begreifen und durch Versuche nachweisen. Eine kleine Eisenkugel in einem durch die Eisenpole begrenzten, gleichförmigen magnetischen Felde hat in gleichem Abstande von den Eisenflächen labiles Gleichgewicht, und zugleich findet sowohl in derselben als auch an den ihr gegenüberliegenden Eisenflächen und in den dazwischen liegenden axialen Räumen eine starke Concentration der Kraft statt. Befindet sich die Kugel nicht in der Mitte, so fliegt sie zu der ihr nächsten Eisenfläche und dann kann sie den grössten Betrag von magnetischer Kraft gegen oder auf die sie durchsetzenden Axiallinien herandrängen.

2811. Ist das Eisen ein Sphäroid, so stellt es sich mit seinem grössten Durchmesser axial, gleichviel ob es sich in der labilen Gleichgewichtslage, den Eisenwänden des Feldes näher oder in Berührung mit ihnen befindet. Da nun die Bedingungen für die Concentration der Kraft in der durch

den Körper gehenden Axiallinie günstiger sind als vorher, so kann dieses Resultat mit weit schwächeren paramagnetischen Körpern als Eisen erreicht werden, und ich zweifle nicht, dass es sich mit einem Sauerstoff oder Stickoxyd enthaltenden Gefässe leicht wird erhalten lassen (2782, 2792). Es wird nun in der That eine, wenngleich nicht die beste Form des Experiments, durch welches der magnetische Zustand der Körper am schärfsten nachgewiesen werden kann.

2812. Die relativ schwache Kraft diamagnetischer Körper macht jeden Versuch, die Umkehrung der Erscheinungen des Eisens zu erhalten, etwas schwierig. Um daher die Bedingungen zu steigern, bediente ich mich einer gesättigten Lösung von Eisenvitriol im magnetischen Felde, wodurch ich die dieselben durchdringenden Kraftlinien verstärkte, ohne deren Gleichheit in den benutzten Stellen zu stören oder in das Princip des Versuches einen Fehler einzuführen, und wandte Wismuth als diamagnetischen Körper an. Ein vertical aufgehängter Cylinder aus dieser Substanz zeigte das deutliche Bestreben, nach der Mitte zu gehen, und hatte eine stabile Gleichgewichtslage an der Stelle, wo der paramagnetische Körper sich im labilen Gleichgewichte befunden hatte. War der Cylinder horizontal aufgehängt, so stellte er sich ganz unverkennbar äquatorial ein.

2813. Diese einander umgekehrten Lagen paramagnetischer und diamagnetischer Körper in einem gleichförmigen magnetischen Felde stimmen wohl überein mit ihren bekannten Beziehungen zu einander, mit der im Princip bereits dargelegten Wirkungsart (2807), wie mit der, welche sie auf die Magnetkraft ausüben, der sie ausgesetzt sind. Man kann sie dem Gedächtniss einprägen, wenn man erwägt, dass eine Kugel aus einem flüssigen paramagnetischen Leiter an der Wirkungsstelle bei Erregung des Magnetismus ihre Gestalt ändern und sich in axialer Richtung verlängern, also in ein längliches Sphäroid übergehen würde; während eine Kugel aus einer diamagnetischen Substanz an derselben Stelle sich in äquatorialer Richtung ausdehnen und in ein abgeplattetes Sphäroid übergehen würde.

2814. Die *gegenseitige Wirkung* zweier Mengen paramagnetischer Substanz in einem gleichförmigen magnetischen Felde lässt sich aus den allgemein bekannten Principien (2807, 2830) oder den denselben entsprechenden Thatsachen voraussehen. Zwei Eisenkugeln, die in derselben Aequatorialebene gehalten werden, stossen einander kräftig ab; lässt man sie aber aus jener Ebene heraustreten, so verlieren sie erst ihre gegenseitige Abstossungskraft und ziehen dann einander an, und zwar am stärksten, wenn sie sich in einer axialen Richtung befinden.

2815. Bei diamagnetischen Körpern ist es schwieriger, die gegenseitige Wirkung zu bestimmen, weil diese ihre Eigenschaft verhältnissmässig schwach ausgeprägt ist. Ich nahm daher meine Zuflucht zu dem früher beschriebenen Hilfsmittel und benutzte als das das gleichförmige magnetische Feld erfüllende Medium eine gesättigte Lösung von Eisenvitriol, und zwei Phosphor-

cylinder von etwa einem Zoll Länge und einem halben Zoll Durchmesser als diamagnetische Körper. Einen derselben hängte ich an dem Ende eines Hebels auf, welcher selbst an einem Coconfaden hing, so dass er ausserordentlich frei beweglich war, und die Einrichtung war so getroffen, dass der Phosphorcylinder, wenn er sich in der Mitte des magnetischen Feldes befand, sich in äquatorialer Richtung oder quer zu den magnetischen Kraftlinien frei bewegen konnte; er zeigte jedoch *kein Bestreben* hierzu, als er dem Einfluss der Magnetkraft ausgesetzt war. Der andere Cylinder war mit einer Handhabe aus Kupferdraht versehen und konnte an dieser oder jener Seite des ersteren festgelegt werden. Er wurde nun dicht neben ihm aufgestellt, und beide wurden dann festgehalten, bis jegliche aus der Bewegung der Flüssigkeit oder der Luft hervorgehende Störung aufgehört hatte. Nach Entfernung des zum Festhalten derselben dienenden Körpers verharrten die beiden Phosphorcylinder weiter an ihrer Stelle; als endlich der Magnetismus erregt wurde, entfernte sich der bewegliche Cylinder augenblicklich von dem feststehenden langsam um eine gewisse Strecke. Führte man ihn, während der Magnetismus unterhalten blieb, zurück, so entfernte er sich wieder, sobald man ihn losliess, blieb aber in der dem anderen benachbarten Lage, wenn der Magnetismus aufgehoben wurde. Der Vorgang fand, je nachdem der feste Cylinder sich auf dieser oder jener Seite des beweglichen befand, in der einen oder anderen Richtung statt, aber in beiden Fällen erfolgte die Bewegung quer zu den magnetischen Kraftlinien, war in der That mechanisch und absichtlich durch die Art der Aufhängung auf diese Richtung beschränkt. Als zwei Wismuthkugeln in Beziehung zu einander so in Richtung der magnetischen Axe angeordnet wurden, dass die eine sich bewegen konnte, aber nur in Richtung dieser Axe, wurde deren Lage durch die andere nicht merklich beeinflusst; das Bestreben der beweglichen Kugel, in die Mitte des Feldes zu gehen (2812), überwog jedes andere, das etwa vorhanden sein mochte.

2816. Zwei diamagnetische Körper wirken also in der That im magnetischen Felde auf einander ein, aber nicht im entgegengesetzten Sinne wie die paramagnetischen Körper, da in beiden Fällen die Körper sich von einander entfernen.

2817. Die Vergleichung der Wirkung para- und diamagnetischer Körper auf einander vervollständigte ich dadurch, dass ich Wasser als Medium in einem gleichförmigen magnetischen Felde benutzte und ein Stück Phosphor an der Torsionswaage aufhängte. Bei Erregung des Magnetismus wurde der Phosphor wie vorher durch ein zweites Stück Phosphor äquatorial abgestossen, aber von einer mit einer gesättigten Eisenvitriollösung gefüllten Röhre angezogen. Paramagnetische und diamagnetische Körper ziehen also in einem mittleren Medium einander in äquatorialer Richtung an, aber gleichartige Körper stossen einander ab (2831).

II. Leitungspolarität.

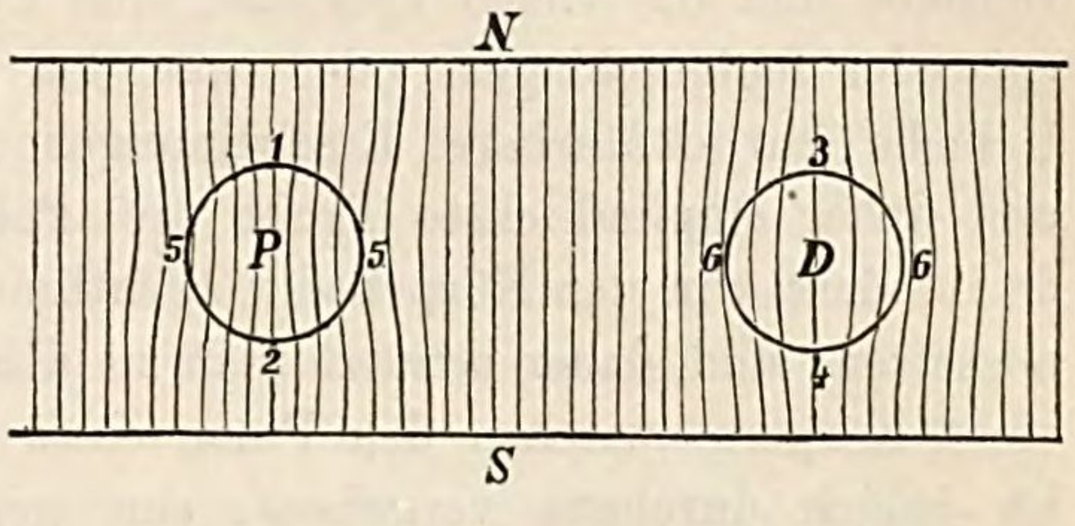
2818. Nachdem ich somit die Wirkungen, welche die durch die paramagnetischen und diamagnetischen Körper verursachte Störung der Kraftlinien hervorzubringen vermag (2807 etc.), kurz betrachtet habe, will ich die Aufmerksamkeit auf das lenken, was man als ihre Polarität ansehen kann. Ich will jedoch mit diesem Ausdruck nicht einen inneren Zustand der Substanzen oder ihrer Theilchen bezeichnen, sondern den Zustand der Masse, als Ganzes, in Bezug auf den Zustand, in welchen sie durch ihre eigene Störung der magnetischen Kraftlinien versetzt wird, und zwar sowohl was ihren Zustand in Bezug auf andere ähnlich afficirte Körper, als auch was die in verschiedenen Theilen ihrer eigenen Masse vorhandenen Unterschiede betrifft. Einen solchen Zustand kann man füglich Leitungspolarität nennen. In ihrer einfachsten Gestalt haben sie Körper, die im freien Raume unter magnetischem Einfluss stehen; in verwickelterer Gestalt haben sie Körper, die sich in anderen Medien befinden, und ihre Grösse kann dann in sehr hohem Grade verschieden sein, sich umkehren oder zunehmen oder abnehmen.

2819. Nehmen wir den einfachsten Fall paramagnetischer Polarität, wie er in Fig. 1 (2807) dargestellt ist, so besteht er aus einer Convergenz der magnetischen Kraftlinien gegen zwei einander gegenüber in Richtung der magnetischen Axe liegende Theile. Der Unterschied im Charakter der beiden Pole an diesen Theilen ist sehr gross und beruht auf dem bekannten Qualitätsunterschied in den beiden entgegengesetzten Richtungen der magnetischen Kraftlinien. Ob bei denjenigen paramagnetischen Körpern, welche sich als solche bloss durch ihre Leitung zu erkennen geben (wie beispielsweise Sauerstoff), polare Anziehung oder Abstossung vorhanden ist, ist noch nicht gewiss (2827), aber wahrscheinlich; und wenn es der Fall ist, so wird sie zweifellos übereinstimmen mit der Anziehung und Abstossung von *Magneten* mit entsprechenden Polen.

2820. Was dagegen die Leitungspolarität eines diamagnetischen Körpers betrifft, so scheinen die Dinge ganz anders zu liegen. Er besitzt keine solche Polarität wie ein paramagnetischer Körper, auch keine einfach umgekehrte (dem Namen oder der Richtung der Kraftlinien nach) wie ich, Weber und Andere früher angenommen haben (2640), sondern der Zustand ist ein ganz eigenthümlicher. Seine Polarität besteht in einer Divergenz der Kraftlinien an den in Richtung der magnetischen Axe einander gegenüberliegenden Theilen oder in einer von denselben fortgerichteten Convergenz; so dass diese Pole zwar *dieselben* allgemeinen und entgegengesetzten Relationen zu einander haben, die der Verschiedenheit der Pole paramagnetischer Körper entsprechen, aber doch den auffallenden Unterschied und Gegensatz gegen die Polarität der letzteren aufweisen, der in der Convergenz und Divergenz der Kraftlinien seinen Ausdruck findet.

2821. Es stelle Fig. 3 ein begrenztes magnetisches Feld mit einem paramagnetischen Körper P und einem diamagnetischen D dar, N und S seien die beiden an den Magnet stossenden (2465) und das Feld begrenzenden Eisenwände, so werden wir uns eine klare Vorstellung von der Richtung der magnetischen Kraftlinien in demselben bilden können. Das Verhalten der beiden Körper lässt sich nicht einfach durch die Annahme darstellen, dass sie die-

Fig. 3.



selben Polaritäten, nur in entgegengesetztem Sinne haben. Die Polarität 1 von P ist wesentlich verschieden von der Polarität 3 von D; nähme man aber an, D habe die umgekehrten Polaritäten wie P, so müsste die Polarität 1 von P gleich sein der Polarität 4 von D, während sie von derselben mehr abweicht als von der Polarität 3 von D oder selbst von seiner eigenen Polarität 2.

2822. In der Natur der von Leitung bedingten Polaritäten giebt es also zwei wesentliche Unterschiede, einmal in der Richtung der Kraftlinien an den Polflächen, wenn man einen umgekehrten Magnet zum Vergleich nimmt, und das andere Mal in der Convergenz und Divergenz dieser Linien, wenn man den Vergleich mit einem nicht umgekehrten Magnet anstellt. Daher lässt sich die Polarität eines diamagnetischen Körpers nicht darstellen durch Umkehrung eines paramagnetischen, seinen Zustand beibehaltenden Körpers.

2823. Diamagnetische Körper müssen in Medien, die stärker diamagnetisch sind als sie selbst, den polaren Zustand paramagnetischer Körper haben (2819), und ebenso müssen paramagnetische Leiter in Medien, die stärker paramagnetisch sind als sie selbst, die Polarität diamagnetischer Körper aufweisen.

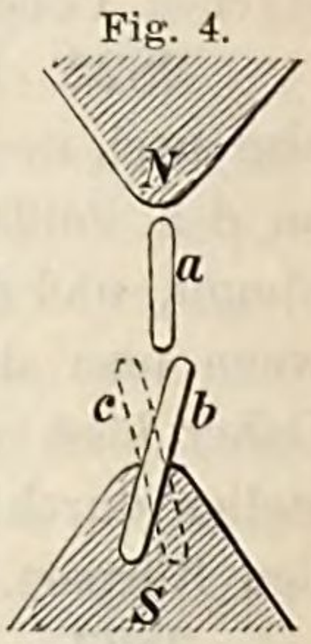
2824. Abgesehen von diesen Unterschieden müssen die Körper ferner einen äquatorialen Zustand haben, der bei beiden Klassen von Leitern entsprechende Wirkungen hervorzubringen geeignet sein muss. Der ganze äquatoriale Theil von P (Fig. 3) ist gleich in Bezug auf die Polarität der Masse von P oder auf die Kraftlinien in dem umgebenden Raume, und eine entsprechende Gleichheit herrscht in dem äquatorialen Theile von D in Bezug auf diesen Körper selbst oder den Raum; aber die Intensität dieser Theile in P oder in D ist verschieden von einander sowohl als auch von der allgemeinen Intensität des Raumes. Solche äquatoriale Zustände sind, glaube ich, eine nothwendige Folge des bestimmten Charakters eines gegebenen Querschnittes des magnetischen Feldes (2809).

2825. Obwohl es an experimentellen Nachweisen dieser Polaritäten

nicht fehlt, so sind sie doch nicht ganz evident oder in schlagender Weise in die Erscheinung zu bringen, und zwar deshalb, weil die hier in's Spiel kommenden Kräfte ausserordentlich schwach sind im Vergleich zu den mächtigen Kräften, die bei der Wechselwirkung von Magneten auftreten. Deshalb sind die vielen Versuche, eine Polarität in Wismuth nachzuweisen, entweder fehlgeschlagen, oder man hat andere, wirklich auf eine solche Ursache zurückführbare Erscheinungen damit verwechselt. Die stärkste und daher empfindlichste Probe auf Polarität, die wir besitzen, besteht darin, dass wir den Körper der Richtlinie sehr starker magnetischer Kräfte aussetzen; und daher benutzt man zu diesem Zwecke immer die Einstellung eines Körpers zwischen den Polen eines kräftigen Magnets. Es wäre und ist jedoch durchaus vergebens, eine gegenseitige Wirkung zwischen den Polen zweier schwacher paramagnetischer oder diamagnetischer Leiter zu erwarten, in vielen Fällen, wo die Wirksamkeit dieser Pole sich durch ihr Verhalten gegen die fast unendlich stärkeren Pole eines kräftigen Hufeisen- oder Elektromagnets in vollem Maasse zu erkennen giebt.

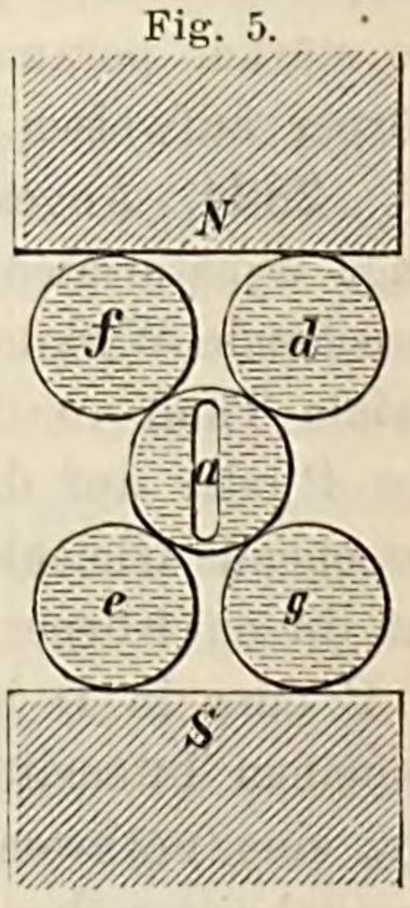
2826. Eine mit einer gesättigten Lösung von Cobaltsulphat gefüllte Röhre *a* (Fig. 4), die ich zwischen den Polen des grossen Elektromagnets aufhängte, stellte sich leicht und gut ein. Als darauf eine andere, mit einer gesättigten Lösung von Eisenvitriol gefüllte Röhre *b* an den Pol S gelegt und in der dargestellten Weise der Cobaltröhre nahe gebracht wurde, liess sich nicht der geringste Einfluss auf die Lage der Röhre *a* wahrnehmen. Die Röhre *b* wurde, um einen etwa vorhandenen Effect zu verdoppeln, in die Lage *c* gebracht, aber es zeigte sich keine Spur einer Wechselwirkung zwischen den Polen von *a* und *b* (2819).

Fig. 4.



2827. Um den Effect zu vergrössern, wurde die Röhre mit der magnetischen Lösung in Wasser, als einem guten diamagnetischen Medium, zwischen flachen Polen aufgehängt (Fig. 5); sie stellte sich gut ein. Zwei Flaschen mit gesättigter Eisenvitriollösung bei *d* und *e* änderten die Lage von *a* nicht; ebensowenig zeigte sich eine Aenderung der Lage von *a*, als sie nach *f* und *g* gebracht wurden. Denselben Versuch mit demselben negativen Erfolge machte ich mit einer Luftröhre in Wasser, worin dieselbe sich axial stellte (2406). Ich will nicht behaupten, dass in diesen Fällen absolut keine Wirkung vorhanden war (2819); aber jedenfalls muss sie unmerklich klein gewesen sein, und hieraus ergiebt sich, wie ungeeignet derartige Mittel sind zu einem Vergleiche mit den Erscheinungen, welche die Einstellung eines Körpers unter dem Einflusse kräftiger Magnete liefert. Wenn sich nach dieser Methode

Fig. 5.



bei so stark wirksamen paramagnetischen Körpern, wie es die gesättigten Lösungen von Eisen, Nickel oder Cobalt sind, keine Polarität nachweisen lässt, so ist kaum zu erwarten, dass sie sich bei den viel schwächer wirkenden diamagnetischen Substanzen auf einem derartigen Wege offenbaren werde.

2828. Wird ein sphärischer paramagnetischer Leiter in die Mitte eines Feldes von gleichförmiger magnetischer Kraft gebracht, so befindet er sich daselbst in einer labilen Gleichgewichtslage, aus welcher er sich bei der kleinsten Verschiebung fortbewegt, bis er die eisernen Grenzwände des Feldes erreicht hat (2465, 2810); es ist dies eine Folge seines eigenthümlichen polaren Zustandes. Könnte die Kugel ihre Gestalt ändern, so würde sie sich in Richtung der magnetischen Axe verlängern; oder wenn sie zwar starr, aber von länglicher Gestalt wäre, so würde sie sich axial stellen; beides eine Folge ihres polaren Zustandes (2811).

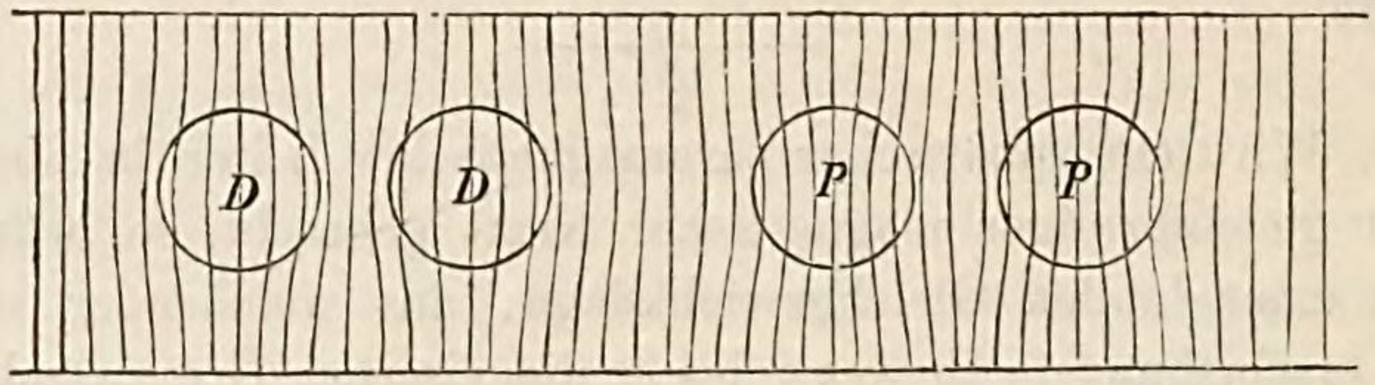
2829. So zeigt sich auch der eigenthümliche polare Zustand diamagnetischer Körper durch entsprechende Thatsachen, indem ein sphärischer Körper seine stabile Gleichgewichtslage in der Mitte des magnetischen Feldes hat (2812), im flüssigen Zustande sich in äquatorialer Richtung auszudehnen und in ein abgeplattetes Sphäroid überzugehen strebt (2813), und ein länglicher Körper sich äquatorial einstellt (2812). Bei Anwendung spitzer Magnetpole sind die Wirkungen sehr viel stärker, aber der Art nach ganz dieselben und von denselben Ursachen und polaren Zuständen bedingt.

2830. Es giebt noch eine andere Reihe von Erscheinungen, welche entweder die Folge der eben erwähnten axialen Polarität sind oder als Folge des Zustandes der äquatorialen Theile der Leiter betrachtet werden können (2824). Zwei Eisenkugeln in einem Felde von gleichförmiger Kraft, in einer zu den Kraftlinien senkrechten Ebene, d. h. mit ihren äquatorialen Theilen neben einander liegend, entfernen sich mit beträchtlicher Kraft von einander (2814), und wahrscheinlich würden sich zwei unendlich schwächere paramagnetische Körper gleicherweise von einander entfernen. Ich habe gefunden, dass zwei Stücke des diamagnetischen Phosphors sich ebenfalls unter denselben Umständen von einander entfernten (2815).

2831. Die Bewegungen sind hier von gleicher Art, während man gerade die umgekehrten erwarten sollte (2816); dennoch ist dies vollkommen erklärlich. Die Diamagnetica müssen sich von einander entfernen, weil die magnetischen Kraftlinien zwischen ihnen dichter zusammengedrängt sind als an den Aussenseiten, wie man leicht aus einer Betrachtung der beiden Kugeln D D in Fig. 6 erkennt; und daher steht diese Bewegung in vollem Einklang mit dem Sich-Oeffnen oder der äquatorialen Einstellung gesonderter Stücke oder einer continuirlichen Masse solcher Substanzen (2829), die ja das Bestreben haben, von Orten stärkerer zu Orten schwächerer Wirkung zu gehen. Andererseits sind die Kraftlinien zwischen den zwei Eisenkugeln

PP weniger dicht als auswärts, und da diese das Bestreben haben, von Punkten schwächerer zu Punkten stärkerer Wirkung zu gehen, so müssen sie sich, um das nothwendige Gleichgewicht der Kräfte herzustellen, von

Fig. 6.



einander entfernen. Endlich ziehen ein paramagnetischer und ein diamagnetischer Körper einander an (2817), und sie müssen es, weil der diamagnetische Körper in der Nähe des paramagnetischen einen Ort schwächerer Wirkung, und der paramagnetische in der Nähe des diamagnetischen einen Ort stärkerer Wirkung findet; DP, Fig. 6.

2832. Zur Veranschaulichung der Wirkung paramagnetischer Leiter habe ich oft von Eisen gesprochen, als ob die Polarität, welche dieses annimmt, gleich der dieser Leiter wäre, allein ich muss jetzt einen Unterschied klar zu machen suchen, der meiner Meinung nach zwischen der Polarität eines Magnets und der, wie ich's bezeichnet habe, auf blosser Leitung beruhenden Polarität besteht. Dieser Unterschied spielt beim Eisen eine wichtige Rolle. Ein permanenter Magnet hat in sich selbst eine Polarität, die auch seine Theilchen besitzen, und die wesentlich abhängt von der dem Magnet inhärenten Kraft. Sie sowohl als auch die Kraft, welche sie erzeugt, ist von solcher Natur, dass wir dem blossen, von Materie freien Raum weder die eine noch die andere beilegen können, welche Gestalt auch dieser Raum haben mag oder wie zahlreich auch die ihn durchschneidenden Kraftlinien sein mögen. Die Polarität eines Leiters ist nicht nothwendig von dieser Art; sie beruht nicht auf einer bestimmten Anordnung der Ursache oder Quelle der magnetischen Wirkung, die ihrerseits die specielle Richtung der Kraftlinien beherrscht und bestimmt (2807), sondern sie ist einfach eine Folge der Verdichtung oder Ausbreitung dieser Kraftlinien, je nachdem die betreffende Substanz mehr oder weniger geeignet ist, ihre Wirkung fortzuleiten. Es ist offenbar etwas ganz Anderes, solche Kraftlinien hervorzubringen und *ihre Richtung zu bestimmen*, oder nur ihre Fortpflanzung zu befördern oder zu verzögern, ohne Einfluss auf ihre Richtung. Figürlich gesprochen, lässt sich der Unterschied vergleichen mit dem zwischen einer Volta'schen Batterie und den Leitungsdrähten oder den Körpern, welche ihre Enden verbinden. Der Kraftstrom geht durch beide, aber die Batterie ist es, die ihn hervorruft und auch seine Richtung bestimmt; der Draht ist bloss ein besserer oder schlechterer Leiter, wie sehr er auch, je nach seiner Gestalt oder Beschaffenheit den Kraftstrom zerstreuen, verdichten oder verändern mag.

2833. Giebt man diese Unterscheidung zu, so haben wir zu erwägen, ob Eisen unter dem Einfluss der magnetischen Kraftlinien ein Magnet wird und seine eigene Polarität erlangt, oder ob es nur ein paramagnetischer Leiter mit sehr hohem Leitungsvermögen ist. Im ersteren Falle würde er thatsächlich die Polarität des Magnets haben, im anderen nur diejenige, welche ich dem Sauerstoff und anderen leitenden Körpern zuschreibe. Meiner Meinung nach ist das Eisen ein Magnet. Es kann als Elektromagnet zu einer *Quelle* magnetischer Kraftlinien von höchster Energie gemacht werden, und obschon es, wenn es sehr weich ist, bei Unterbrechung des elektrischen Stromes in der Regel fast all seinen Magnetismus verliert, so ist dies doch nicht der Fall, wenn es einen geschlossenen Kreis oder Ring bildet, vielmehr kann es alsdann seinen Magnetismus stunden- ja wochenlang behalten und ist also offenbar während dieser Zeit eine Kraftquelle, unabhängig von jedem Volta'schen Strom. Ich meine also, dass das Eisen unter dem Einfluss von magnetischen Kraftlinien ein Magnet wird, und wenngleich es alsdann, was die Richtung betrifft, dieselbe Art von Polarität hat wie ein einfacher, denselben Kraftlinien unterworfener paramagnetischer Leiter, so besteht doch dabei ein grosser Unterschied; denn wie jedes innere Eisentheilchen in gewissem Grade ein Magnetismus erzeugendes System bildet, so ist die Polarität aller zu einem polaren Ganzen combinirt, das, wie es von unendlich grösserer Intensität ist, ebenso auch in der Anordnung der Kraft in den einzelnen Theilen sehr verschieden sein kann von der Polarität eines blossen Leiters.

2834. Es scheint mir auch sehr wahrscheinlich, dass, wenn Eisen, Nickel und Cobalt auf die Temperaturen gebracht werden, bei denen sie ihre erstaunliche Kraft fast ganz verlieren (2347) und nur einen so kleinen Bruchtheil davon zurückbehalten, dass es der empfindlichsten Mittel zur Wahrnehmung derselben bedarf (2343), sie hiermit in den Zustand paramagnetischer Leiter übergehen, alle Fähigkeit zur Annahme des inneren Polarisationszustandes nach Art der Magnete einbüssen und nun keine andere Polarität besitzen als die, welche ihnen als paramagnetischen Substanzen angehört (2819). Es ist auch wahrscheinlich, dass diese Metalle in vielen Verbindungen nur den Zustand blosser Leitung annehmen können, dass beispielsweise das Eisen im Oxydul ein Magnet sein kann, während es im Oxyd bloss ein Leiter ist; und von diesem Gesichtspunkte erscheint es nicht sonderbar, dass Sauerstoff, der als Gas ein paramagnetischer Körper ist (2782), eine gleiche Gewichtsmenge Eisen auf seinen eigenen Zustand, ja weit darunter herabbringt. In ihren verschiedenen Salzen und Lösungen mögen diese Metalle im Verein mit der mit ihnen verbundenen Substanz bloss als Leiter wirken.

2835. Vielleicht hätte ich die Concentration oder Expansion der magnetischen Kraftlinien in den als Leiter wirkenden Körpern nicht Polarität nennen sollen, insofern wahre magnetische Polarität wesentlich und gänzlich von der *Richtung* der magnetischen Kraftlinien, und nicht von einer blossen

Verdichtung oder Divergenz derselben abhängt. Ich that es nur deshalb, um bequemer auf Thatsachen und Ansichten hinzuweisen, welche man bisher mit einer vermeintlichen Polarität innerhalb der Körper in Zusammenhang gebracht, die, ob paramagnetische oder diamagnetische, ich als blosse Leiter betrachtet habe, und ich hoffe daher, dass man meine Meinung nicht missverstehen wird. Ich habe bereits um Erlaubniss gebeten, solche Ausdrücke (wie Kraftlinien, Leitungsvermögen u. s. w.) (2149, 2797) gebrauchen zu dürfen, die mich einstweilen von dem Zwange herkömmlicher Vorstellungen befreien; sie sind aus diesem Grunde ausserordentlich nützlich, wenn man nur ihre Bedeutung einstweilen genügend einschränkt und sich durch sie nicht zu einer schädlichen Lockerheit oder Ungenauigkeit in Darstellung der Thatsachen verleiten lässt.

III. Magnekrystallische Leitung.[1])

2836. Man wird die schönen Untersuchungen von Plücker über die magnetisch-optischen Erscheinungen noch nicht vergessen haben, und ich hoffe, dass man sich hierbei auch meiner eigenen Versuche über magnekrystallische Erscheinungen (2454 etc.) erinnern wird. Die von uns beschriebenen Erscheinungen entspringen, glaube ich, einer gemeinsamen Ursache und sind der Art nach gleich, und soweit sie sich an reinen durchsichtigen Körpern zeigen, hat Plücker, wie ich glaube, die richtige Beziehung zu der positiven und negativen optischen Axe solcher Körper aufgefunden.[2]) In diesen Fällen stellt sich ein krystallisirter Körper im magnetischen Felde energisch ein oder nimmt eine bestimmte Lage ein (2464, 2379, 2550), unabhängig von seinem paramagnetischen oder diamagnetischen Charakter (2562), und ohne einen Zustand anzunehmen, den er ausserhalb des magnetischen Feldes beibehielte (2504).

2837. Der Begriff der Leitung, auf diese magnekrystallischen Körper angewandt, scheint zur Erklärung der speciellen Erscheinungen völlig zu genügen. Eine magnekrystallische Substanz wäre danach eine solche, welche im krystallisirten Zustande eine Fortleitungsfähigkeit hätte, oder die Aeusserung der magnetischen Kraft in der einen Richtung mehr begünstigte als in der anderen, und jene Richtung wäre die Magnekrystallaxe. Im magnetischen Felde würde also die Magnekrystallaxe in eine mit der magnetischen Axe zusammenfallende Lage durch eine jener Differenz entsprechende Kraft gedrängt werden, wie von zwei Körpern der besser leitende den schlechter leitenden verdrängt.

2838. So wäre die Lagenerscheinung erklärt (2586), gleichwie die Fähigkeit, in der einen Richtung besser magnetisch zu leiten als in der

---

[1]) Ich muss hier auf eine wichtige Abhandlung über diesen Gegenstand von Tyndall und Knoblauch hinweisen, die sich im Philosophical Magazine, 1850. vol. XXXVII, p. 1 findet. M. F. — 6. Januar 1851.

[2]) Philosophical Magazine, 1849, vol. XXXIV, p. 450.

anderen (2588, 2591), und ebenso ist die Anomalie, die mir in der Annahme zu liegen schien, dass die Beziehung einer Kraftlinie zu jedem Theil einer Ebene indifferent sein sollte (2600), beseitigt. Dass Wärme dieses Leitungsvermögen aufhebt (2570), scheint mir in vollkommenem Einklang zu stehen mit dem, was wir über den Einfluss der Wärme auf die magnetische Leitung des Eisens und Sauerstoffs u. s. w. und auf das elektrische Leitungsvermögen des Platins, Schwefelsilbers u. s. w. wissen. Endlich scheint auch die Vorstellung nicht unverträglich zu sein mit dem Zustande, den der Körper, während er unter dem Einfluss der magnetischen Kraft steht, anzunehmen scheint (2609 etc.).

2839. Wenn jedoch diese Ansicht richtig ist, so scheint daraus zu folgen, dass ein diamagnetischer Körper wie Wismuth weniger stark diamagnetisch sein müsse, wenn seine Magnekrystallaxe (so nahe als möglich) parallel, als wenn sie rechtwinkelig zur magnetischen Axe steht. Er müsste sich in den beiden Lagen so verhalten wie zwei Substanzen von verschiedenem Leitungsvermögen für Magnetismus und demnach an der Differentialwaage ähnliche Differentialerscheinungen zeigen wie Sauerstoff und Stickstoff (2774) oder Phosphor und Wismuth oder irgend zwei andere verschiedene Körper. Obgleich ich früher gewisse Resultate mitgetheilt habe, welche dafür sprechen (2551, 2552, 2553), so sind sie doch bei dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse nicht befriedigend, weil der Unterschied, wenn überhaupt einer vorhanden ist, klein ist (2552) und bei Anwendung eines einzelnen zugespitzten Pols rasch verschwindet. Andere früher (2554—2561) beschriebene Versuche (obwohl zu dem beabsichtigten Zweck ganz geeignet) würden doch einen kleinen Unterschied der diamagnetischen Kraft nicht nachweisen, weil sie mit flachen Polen und einem nahezu gleichförmigen magnetischen Felde angestellt worden sind.

2840. Die Differential-Torsionswaage (2773) setzte mich in den Stand, mit grösserer Hoffnung auf Erfolg zu diesem Gegenstande zurückzukehren. Eine Gruppe unter sich gleicher Wismuthkrystalle (2457) wurde an der einen Seite des Doppelkegel-Kerns aufgehängt (2738), und an der anderen Seite ein Flintglascylinder. Das Flintglas sollte zum Vergleichungsmaass dienen und daher wurde weder seine Lage an der Waage, noch sonst sein Zustand während der Dauer des Versuches verändert. Der Magnekrystallaxe der Wismuthgruppe war eine horizontale Lage gegeben, und sie konnte in einer Horizontalebene gedreht werden, um sie bald parallel, bald senkrecht zu der magnetischen Axe (oder den Kraftlinien) stellen zu können, ohne den Abstand ihres Schwerpunktes von dem gegenüber hängenden Glascylinder irgend zu ändern. Die Wismuthgruppe konnte daher in der einen oder anderen Lage mit dem Cylinder verglichen werden.

2841. Die Magnekrystallaxe wurde zunächst dem Kern oder der magnetischen Axe parallel gestellt, darauf der Magnetismus erregt, und nachdem die diamagnetischen Körper ihre Ruhe- oder Gleichgewichtslage eingenommen

hatten, die Lage des Waagebalkens beobachtet mittelst eines Lichtstrahls, der von einem daran befestigten Spiegel reflectirt wurde. Dann wurde das Wismuth um 90^0 gedreht, oder seine Magnekrystallaxe rechtwinkelig zu der Axe des Doppelkegel-Kerns gestellt; wenn nun der Magnet erregt wurde, entfernte sich das Wismuth weiter vom Kerne als vorher. Wurde es abermals um 90^0 gedreht, so dass es der ersten Lage diametral entgegengesetzt war (2461), so kam es dem Magnet wieder ein wenig näher, und in der vierten, die zur zweiten diametral war, stand es wieder weiter ab. Sonach erwies sich das krystallisirte Wismuth, je nach der Lage seiner Magnekrystallaxe, in verschiedenem Grade diamagnetisch, und zwar stärker, wenn diese Axe rechtwinkelig oder quer, als wenn sie parallel zu den magnetischen Kraftlinien lag, was also die auf theoretische Betrachtungen (2839) gegründete Erwartung bestätigte.

2842. Ich versuchte ähnliche Resultate mit einem Kalkspathwürfel (2597) zu erhalten; denn es ist klar, dass dieser Körper, wenn seine in einer Horizontalebene liegende optische Axe erst parallel und dann rechtwinkelig zur magnetischen Axe gestellt wird, in der ersten Lage stärker diamagnetisch sein muss als in der zweiten, insofern die letztere diejenige ist, welche er vermöge seines magnekrystallischen oder magneoptischen Zustandes annimmt. Ich konnte jedoch keine entscheidenden Resultate erhalten, theils weil sein Diamagnetismus sehr viel schwächer ist als der des Wismuths, theils weil meine Torsionswaage noch unvollkommen ist, theils auch wegen der Grösse und Gestalt des Kalkspaths. Eine Kugel oder ein Cylinder, dessen optische Axe rechtwinkelig zur Cylinderaxe wäre, würden zu diesen Versuchen geeignetere Gestalten bilden.

2843. Indem ich diesen Theil der Untersuchung über das magnetische Leitungsvermögen schliesse, will ich noch einige Fälle anführen, die, wie ich glaube, den experimentellen Nachweis von der *Existenz* desselben in den beiden Klassen magnetischer Körper (2805) darstellen. Der Ort und die Lage des Eisens in einem gleichförmigen magnetischen Felde (2810, 2811) ist ohne Zweifel eine Folge seiner ausserordentlichen Fähigkeit, die magnetische Kraft durch den von ihm eingenommenen Raum fortzupflanzen, gleichviel ob man die Eisentheilchen als polar betrachtet oder nicht (2832), und deshalb sehe ich die umgekehrten Erscheinungen, die ein diamagnetischer Körper hinsichtlich des Ortes und der Lage zeigt (2812, 2813), als einen Beweis an, dass seine Fähigkeit, die magnetische Kraft fortzupflanzen, geringer ist als die des von ihm erfüllten Raumes, und daraus schliesse ich, dass er diamagnetisch leitet (2802).

2844. Dass paramagnetische Körper sich in der äquatorialen Richtung von einander entfernen, ist ein Beweis von der Art, wie sie vermöge ihrer besseren Leitung die Lage der Kraftlinien in dem umgebenden Medium stören (2831). Dass zwei diamagnetische Körper sich unter denselben Umständen

von einander entfernen, ist ebenso ein Beweis von der Art, wie sie in Folge der Verschiedenheit ihres Leitungsvermögens die Vertheilung der Kraft stören (2831). Die gegenseitige äquatoriale Anziehung eines paramagnetischen und eines diamagnetischen Körpers, wenn sie sich in einem Medium befinden, dessen Leitungsvermögen zwischen dem der beiden steht (2831), ist nicht bloss ein Beweis von der Leitung derselben, sondern auch von dem umgekehrten Verhalten beider zu einander und zu dem umgebenden Medium.

2845. Dass ein Wismuthkrystall, je nachdem seine Magnekrystallaxe parallel oder senkrecht zur axialen Linie liegt, sich in kleinerem oder grösserem Abstande von der magnetischen Axe einstellt (2841), zeugt ebenfalls von der Verschiedenheit des Leitungsvermögens und daher von dem Dasein desselben in dem diamagnetischen Körper überhaupt. Es liesse sich noch vieles Andere zum Nachweis der Eigenschaft anführen, die ich als Leitungsvermögen ansehe (2797), und die wahrscheinlich Niemand wird läugnen wollen, allein ich glaube, dass das Bisherige ausreichen wird, meine Meinung darzuthun.

2846. Ich brauche kaum zu sagen, dass ich unter magnetischer Leitung nicht dasselbe wie unter elektrischer Leitung oder etwas Aehnliches verstehe. Die allerbesten Elektricitätsleiter, wie Silber, Gold und Kupfer, sind viel weniger fähig, die magnetische Kraft fortzuleiten, als der leere Raum, so sehr fehlt es ihnen an dem, was ich magnetische Leitung genannt habe. Dagegen besteht eine überraschende Analogie zwischen dieser Leitung der magnetischen Kraft und dem, was ich früher hinsichtlich der statischen Elektricität specifische Inductionscapacität genannt habe (1252 etc.) und ich hoffe, dass sie uns zu einer näheren Erkenntniss der Art führen wird, wie Kraftlinien in Körpern afficirt und theilweise von ihnen fortgepflanzt werden.

§ 33. Atmosphärischer Magnetismus.[1])*)

I. Allgemeine Principien.

2847. Wenn ich bedenke, dass die Atmosphäre zu zwei Neunteln ihres Gewichts aus einem stark magnetischen Körper besteht, der durch Aenderungen seiner physikalischen Bedingungen, wie der Temperatur und der

---

[1]) In den Philosophical Transactions von 1827, p. 308 findet sich eine sehr wichtige Abhandlung von Christie, „On the Theory of the Diurnal Variation of the Magnetic Needle.“ Seebeck's Entdeckung des Thermomagnetismus und Cumming's Versuche führten ihn zur Untersuchung der Frage, inwieweit sich von der Idee der Thermoströme und der thermomagnetischen Polarität eine An-

---

*) Ich muss den Leser meiner Abhandlung auf eine von A. de la Rive aufgestellte Theorie über die *Ursache* der täglichen Variationen aufmerksam machen, die sich auf die Annahme von thermoelektrischen Strömen in der Atmosphäre und Erde gründet, und die sich in einer „Ueber die tägliche Variation der Magnetnadel“ betitelten Abhandlung in den Annales de Chimie, 1849, XXV, p. 310 findet.

Vor Kurzem hat mich ein Freund auf eine Bemerkung Becquerel's auf-

Dichtigkeit (2780), beträchtliche Aenderungen seines magnetischen Charakters erleidet, und der jenen Aenderungen durch den jährlich und täglich variirenden Einfluss der Sonne in hohem Maasse unterliegt, so ist es mir unmöglich zu zweifeln, dass derselbe in der Vertheilung der magnetischen Kräfte auf der Erdoberfläche eine grosse Rolle spielt (2796) und somit vielleicht einen grossen Theil der jährlichen und täglichen und der kurz dauernden unregelmässigen Variationen dieser Kraft zu erklären vermag.

---

wendung auf die Naturerscheinungen machen lasse, und er gelangt zu dem Schluss (p. 327), dass bei der Annahme, *die Erde und die Atmosphäre* seien so beschaffen, dass ein solcher Vorgang unter irgend welchen Umständen stattfinden könne, diese Versuche beweisen würden, dass *jeder Theil der Erde, der von mit der umgebenden Atmosphäre parallelen Ebenen begrenzt wäre, einen ähnlichen Polarisationszustand annehmen würde, sobald ein Theil stärker erwärmt würde als ein anderer.* Demnach müssten wir, wenn wir nur die *Aequatorialgegenden der Erde in Betracht ziehen, zwei Magnetpole an der Nordseite und zwei ähnlich gelegene an der Südseite haben, wobei die ungleichnamigen Pole einander an den entgegengesetzten Seiten des Aequators gegenüberlägen.*

---

merksam gemacht, die mit dem vorliegenden Gegenstande in Beziehung steht und folgendermassen lautet: „Wenn man bedenkt, dass die Erde von einer Luftmasse umgeben ist, deren Gewicht gleich einer Quecksilberschicht von 30 Zoll ist, so darf man sich fragen, ob nicht eine solche Masse eines magnetischen Gases, das in fortwährender Bewegung begriffen ist und den regelmässigen und unregelmässigen Aenderungen des Druckes und der Temperatur unterliegt, in einigen auf den Erdmagnetismus beruhenden Erscheinungen eine Rolle spielt. Eine Berechnung der magnetischen Kraft dieser Flüssigkeitsmasse ergiebt, dass sie äquivalent ist einer ungeheuren, die ganze Erdoberfläche bedeckenden Eisenplatte von etwas mehr als 0,1 mm Dicke (?).“ Diese Stelle findet sich in den Annales de Chimie, 1850, vol. XXVIII, pp. 341, 342, in einer ausgezeichneten Abhandlung, in welcher der Verfasser die von mir vor *fünf* Jahren in den Experimental-Untersuchungen, 2357, 2361, 2406, 2414, 2423 etc. allgemein dargelegten Differentialwirkungen verschiedener Media vortrefflich entwickelt hat. Auf diesem Wege hat er den Magnetismus des Sauerstoffs wieder entdeckt und dessen Stärke gemessen, offenbar ohne meine Arbeit über diesen Körper im Verhältniss zu Stickstoff und anderen Gasen zu kennen, die ich vor *drei* Jahren in einem Briefe in dem Philosophical Magazine von 1847, vol. XXXI, p. 401, sowie in Poggendorff's Annalen und anderswo veröffentlicht habe; daran also schliesst sich die obige Bemerkung. Ich darf mich nicht darüber wundern, da ich selbst Becquerel's Arbeit erst seit ganz Kurzem kenne. In meinem Briefe von 1847 führe ich an, dass Sauerstoff in gewöhnlicher Luft (p. 410), in Kohlensäure (p. 414), in Steinkohlengas (p. 415), in Wasserstoff (p. 415) magnetisch und sein Magnetismus gleich seinem Gewichte sei. Ich sage, dass die Luft ihre Stellung dem darin enthaltenen Sauerstoff und Stickstoff verdankt (p. 416), und versuchte, diese Bestandtheile derselben durch Anziehung des Sauerstoffs und Abstossung des Stickstoffs zu trennen. Zum Schlusse lasse ich es unentschieden, wohin der wahre Nullpunkt zwischen magnetischen und diamagnetischen Körpern zu verlegen sei und weise darauf hin, dass die Atmosphäre dem magnetischen Einfluss der Erde unterworfen ist. Eben diese älteren Resultate führten mich zu den vorliegenden Untersuchungen. M. F. — 28. Nov. 1850.

Ich erhebe nicht den Anspruch, diese wichtige Frage mit grosser Einsicht behandeln zu können, da von den durch die Arbeiten der grossen Männer, wie Humboldt, Hansteen, Arago, Gauss, Sabine und vieler Andrer mit so grossem Eifer angesammelten Kenntnissen über den Erdmagnetismus und dessen Vertheilung über die Erdoberfläche mir nur sehr wenig eigen ist. Da mir aber das Loos zugefallen ist, gewisse fundamentale Thatsachen in die Physik einzuführen, und ich natürlich über die allgemeinen Principien, durch welche dieselben zu den magnetischen Vorgängen in der Atmosphäre in Beziehung gesetzt werden können, viel nachgedacht habe, so wird es mir gestattet sein, diese Principien, so gut als ich vermag, auseinander-zusetzen, damit Andere sie sich aneignen können. Wenn die Principien richtig sind, so werden sie bald ihre specielle Anwendung auf die an verschiedenen Punkten der Erde anftretenden magnetischen Erscheinungen finden.

2848. Die Erde kennen wir als einen sphärischen Körper, dessen Vertheilung von Land und Wasser sehr unregelmässig ist, und der aus paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen besteht, die gleichfalls auch in seinen kleineren Theilen unregelmässig angeordnet und mit einander vermischt sind. Nichtsdestoweniger ist die Erde in ihrer Gesammtheit ein Magnet, und soviel wir bis jetzt wissen, hat sie in sich selbst die Quelle dieser Kraft. Und obwohl wir vorläufig nicht einsehen, wie alle Bestandtheile der Erde ursprünglich zu deren Magnetismus beitragen, da viele von ihnen diamagnetisch, viele Nichtleiter elektrischer Ströme sind, so kann man doch schwerlich behaupten, dass irgend ein grösserer Theil nicht zur Herstellung der Kraft mitwirke. Späterhin wird es vielleicht nothwendig sein, gewisse Theile als blosse Leiter anzusehen, d. h. als Theile, die von den anderswo entspringenden Kraftlinien durchdrungen werden, aber einstweilen mag die ganze Erde nach der Theorie von Gauss als ein mächtiger zusammengesetzter Magnet angesehen werden.

2849. Die magnetische Kraft dieses grossen Systems ist mit einem gewissen Grade von Regelmässigkeit vertheilt. Uns ist es nur möglich, soviel davon zu erkennen, als sich in Einer Schale oder Fläche zeigt, die, von sehr unregelmässiger Gestalt, für uns immer dieselbe ist, da wir nur selten, wenn überhaupt, aus ihr heraustreten, oder wenn es, wie in einem Luftballon, geschieht, nur um eine unbedeutende Strecke. Dies ist die Land- und Wasseroberfläche unseres Planeten. Die Richtung und Intensität der in *dieser Oberfläche* oder durch dieselbe gehenden Kraftlinien lassen sich durch deren Wirkung auf kleine Magnete erkennen; aber von ihrem mittleren Lauf oder ihren temporären Abweichungen *darunter oder darüber*, d. h. im Innern der Erde oder oben in der Luft erhalten wir nur durch die Variationen der Kraft an der Erdoberfläche dunkle Angaben, ohne dass wir hierdurch erfahren, ob die Ursache dieser Veränderungen oben oder unten liege.

2850. Die Kraftlinien gehen von den nördlichen und südlichen Theilen der Erde mit verschiedener aber entsprechender Neigung aus und nähern

sich und verschmelzen mit einander über den äquatorialen Theilen. Ihre allgemeine Anordnung entspricht einem Kraftliniensystem, das von einer Kugel ausgeht, die im Innern einen oder zwei kurze in Beziehung zur Axe gerichtete Magnete hat. Aus der Analogie einer solchen Kugel mit der Erde scheint man Grund zu haben zu der Annahme, dass die von der Erde ausgehenden Kraftlinien wieder zu ihr zurückkehren; aber sie mögen in ihrem Kreislauf sich durch einen Raum von vielen Erddurchmessern oder Zehntausenden von Meilen erstrecken. Gay-Lussac und Biot haben bei einer Ballonfahrt in einer Höhe von etwa vier Meilen über der Erdoberfläche eine Abnahme der Intensität der magnetischen Kraft wahrgenommen, aber wir werden bald sehen, dass sich daselbst andere Einflüsse geltend gemacht haben konnten, die die gesammte Erscheinung ausreichend erklären, so dass nichts davon auf die Entfernung von der Erde als einem Magnet zurückgeführt zu werden braucht. Die Zunahme der Intensität vom Aequator nach den Polen hin steht im Einklang mit der Vorstellung von der ungeheuren Verbreitung dieser Kraft.

2851. Von der Leichtigkeit, mit der diese Linien den Raum durchdringen, gewähren uns unsere bisherigen Kenntnisse oder die früher angestellten Versuche und Beobachtungen (2787) eine allgemeine Vorstellung. Ob es Umstände giebt, die ihren Durchgang durch den Raum beeinflussen und so ihre Beschaffenheit ändern; ob Aenderungen der sogenannten Temperatur des Raumes, wenn solche vorkommen, seine Fähigkeit, die magnetische Kraft fortzupflanzen, ändern, das sind Fragen, die wir einstweilen nicht beantworten können, obschon die letztere nicht ganz ausserhalb des Bereichs des Versuches zu liegen scheint.

2852. Dieser Raum bildet den grossen Abgrund, in den die von der Erde ausgehenden Kraftlinien, von denen wir durch unsere Beobachtungsapparate Kenntniss erhalten, eindringen, wenigstens überall dort auf der Erde, wo die Inclination merklich ist. Allein zwischen der Erde und diesem Raum liegt die Atmosphäre, die, wie bedeutend wir auch ihre Höhe schätzen mögen, doch im Vergleich zu der Grösse der Erde oder zu der Ausdehnung des Raumes jenseits ihrer, in den die Kraftlinien eindringen, so klein ist, dass die Vorstellung, sie sei ein veränderliches, wirksames Zwischenglied *zwischen* zwei weit ausgedehnteren, in ihrer Natur und Beschaffenheit beständigen Systemen, zu keinem ernstlichen Irrthum führen kann. Auf dem Boden dieser Atmosphäre ist es, wo wir leben und forschen, Beobachtungen machen und Versuche anstellen.

2853. Die Atmosphäre besteht, soviel wir bisher wissen, aus vier Volumina Stickstoff und einem Volumen Sauerstoff, oder aus 3,5 Gewichtstheilen des ersteren und einem Gewichtstheil des letzteren. Diese Substanzen sind nahezu gleichförmig durch einander gemischt, so dass sie, als Umhüllung der Erde betrachtet, magnetisch wie ein einziges Medium wirken. Die erdmagnetischen Kräfte scheinen auch kein Bestreben zu haben, sie zu

trennen[1]), obschon sie in ihrem Verhalten zum Magnetismus sehr auffallend von einander abweichen.

2854. Der *Stickstoff* der Luft scheint weder paramagnetisch noch diamagnetisch zu sein; ist er in dieser Beziehung wirklich von Null verschieden, so jedenfalls nur in sehr geringem Grade (2783, 2784). So weit unsere Beobachtungen gegenwärtig reichen, hat er dieselbe Beziehung zum Raume, ja verhält sich wie dieser, ob er sich im dichten oder verdünnten Zustande befindet. Was die andere Ursache der Veränderung, die Temperatur, betrifft, so schloss ich aus früheren unvollkommenen Versuchen[2]), dass Stickstoff durch Erwärmung stärker diamagnetisch werde; allein da er damals mit dem Sauerstoff gemischt war, und das Resultat demnach nicht rein war, so habe ich für den vorliegenden Zweck die Versuche mit grösserer Sorgfalt wiederholt.

2855. Eine kleine Spirale von Platindraht, die an dicken Kupferdrähten befestigt war, konnte unter den Polen des grossen Elektromagnets in jede Lage gebracht und mittelst einer Volta'schen Batterie in's Glühen versetzt werden, um die Temperatur des sie umgebenden Gases zu erhöhen. Die Magnetpole endeten in Halbkugeln von weichem Eisen von 0,76 Zoll Durchmesser, die 0,2 Zoll von einander abstanden, und waren mit einer Glasglocke bedeckt, die auf einer dicken flachen Unterlage von vulkanisirtem Kautschuk ruhte. Durch die Unterlage bis zum Scheitel der Glocke hinauf ging eine Röhre, durch welche die Gase eingeleitet werden konnten. Innerhalb der Glocke war horizontal über den Magnetpolen eine sehr dünne, auf ihrer oberen Seite mit einer zarten Wachsschicht überzogene Glimmerplatte von etwa 3 Quadratzoll befestigt. Die kleine Platinspirale war unter dem Zwischenraum der Pole ein wenig seitwärts von der axialen Linie angebracht, so dass ein von ihr aufsteigender warmer Luftstrom zu der Glimmerplatte gelangen und durch Schmelzen des Wachses die Stelle anzeigen konnte, wo er die Glimmerplatte traf.

2856. Alles functionirte ganz vortrefflich, wenn sich *Luft* in der Glasglocke befand. Wenn der Magnetismus nicht erregt war, so stieg die erwärmte Luft von der glühenden Spirale senkrecht in die Höhe und brachte eine scharf begrenzte runde Stelle des Wachses zum Schmelzen, die somit den Ort des Stromes unter gewöhnlichen Umständen anzeigte. Wurde aber der Magnet in Wirksamkeit gesetzt, so blieb das Wachs auf dem Glimmer ungeändert; die heisse Luft wurde also so weit von der axialen Linie fortgetrieben und, indem sie sich gezwungenermassen mit der benachbarten Luft vermischte, so stark abgekühlt, dass sie nirgend einen Wachsfleck zu schmelzen vermochte. So wie der Magnetismus zum Verschwinden gebracht wurde, stieg die heisse Luft senkrecht in die Höhe und nahm wieder ihre ursprüngliche Lage an.

---

[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, p. 416. [Siehe weiter unten.]
[2]) Ibid. p. 418. [Siehe weiter unten.]

2857. Hierauf wurde *Kohlensäure* durch die Röhre (2855) in die Glasglocke geleitet, und zwar doppelt so viel als der Rauminhalt der Glasglocke betrug; da dieses Gas jedoch schwerer ist als atmosphärische Luft, und diese nur am Boden der Glocke austreten konnte, so blieb schliesslich ohne Zweifel ein Gemisch von Luft und Kohlensäure in der Umgebung der Pole zurück. Wenn nun die Platinspirale glühend gemacht wurde, so stieg die erwärmte Gassäule wie vorher vertical in die Höhe. Bei Erregung des Magnetismus wurde sie von der axialen Linie abgelenkt, bewegte sich äquatorial und brachte das Wachs an einer um einen halben Zoll von der früheren entfernten Stelle zum Schmelzen. Da ich es für möglich hielt, dass selbst diese Wirkung von der dem Gase beigemengten Luft herrühre, leitete ich zwei weitere Volumina Kohlensäure in und durch das Gefäss. Nun bewirkte der Magnetismus eine weit geringere Ablenkung der aufsteigenden Gassäule. Als ich noch zwei Volumina Kohlensäure hindurchleitete, stieg der erwärmte Gasstrom so nahe vertical in die Höhe, dass kaum ein Unterschied in der Lage seines Ortes merklich war, ob der Magnet in voller Thätigkeit oder gar nicht erregt war. Ich schliesse hieraus, dass das diamagnetische Verhalten der Kohlensäure bei der Temperatur einer hellen Rothgluth sehr wenig verschieden ist von dem bei gewöhnlicher Temperatur.

2858. *Stickstoff.* — Dieses Gas wurde gewonnen, indem man atmosphärische Luft langsam über brennenden Phosphor streichen liess, und nachdem es zwölf bis vierzehn Stunden gewaschen worden war, wurde es in die Glocke geleitet, um die Kohlensäure auszutreiben. Da es leichter ist als diese, diente es sehr gut diesem Zwecke, und das in dem Gefäss zurückbleibende Gas enthielt wahrscheinlich nicht mehr Sauerstoff oder Luft als es mit sich führte. Dieser Stickstoff, durch die Platinspirale erhitzt, erwies sich fast ebenso indifferent gegen den Magnet als die Kohlensäure. Die erwärmte Gassäule traf den Glimmer (nahezu) an derselben Stelle, gleichviel ob der Magnetismus erregt war oder nicht. Sie ging zwar, wenn der Magnet in Thätigkeit war, ein wenig auswärts oder äquatorial, allein ich schrieb dies einer kleinen im Stickstoff noch zurückgebliebenen Menge Sauerstoff zu, und in der That liess sich die Gegenwart von Sauerstoff im Stickstoff durch Stickoxyd nachweisen. Die Platinspirale wurde auf eine so hohe Temperatur gebracht, als sich ohne Schmelzen derselben erreichen liess, aber dennoch war nur jene schwache Wirkung erkennbar. Daraus schliesse ich, dass heisser Stickstoff nicht stärker diamagnetisch ist als kalter, und dass sein magnetisches Verhalten durch eine solche Temperaturänderung gar nicht beeinflusst wird.

2859. Als ich die Glasglocke (2855) einen Moment einen Zoll hoch hob und dann sofort wieder niedersetzte, erfolgte bei Erregung des Magnetismus und Erhitzung der Spirale eine so starke Ablenkung des Gases im Innern der Schale, dass der geschmolzene Wachsfleck nahezu einen Zoll

weit von der normalen Stelle lag, obschon doch nur eine ganz kleine Menge Sauerstoff oder Luft in das Gefäss hatte eindringen können.

2860. Der Stickstoff der Luft ist also in Bezug auf die magnetische Kraft ein sehr indifferenter Körper; er scheint weder paramagnetisch noch diamagnetisch zu sein und zeigt in seinem Verhalten auch keinen Unterschied, ob er sich im dichten oder verdünnten Zustande, auf hoher oder niederer Temperatur befindet. Ich fand früher, dass die diamagnetischen Metalle ihr Verhalten gegen den Magnet durch Erwärmung nicht ändern (2397) und nun scheint dasselbe auch für solche neutrale oder diamagnetische Körper wie Stickstoff und Kohlensäuregas zu gelten.

2861. Der *Sauerstoff* der Luft verhält sich ganz anders als der Stickstoff. Er ist so stark paramagnetisch, dass er bei gleichem Volumen äquivalent einer Eisenvitriollösung, die das siebzehnfache Gewicht des Sauerstoffs an krystallisirtem Salz enthält (2794). Mit der Verdünnung wird er bei unverändertem Volumen schwächer paramagnetisch (2780) und zwar bei gleichbleibender Temperatur anscheinend einfach proportional der Verdünnung. Wird die Temperatur *erhöht*, so dass er sich ausdehnen kann[1]), so büsst er einen sehr beträchtlichen Theil seiner paramagnetischen Kraft ein, und aus einem früheren mit Luft erhaltenen Resultat[2]) habe ich ausreichend Grund zu schliessen, dass bei Erniedrigung seiner Temperatur sein Paramagnetismus zunehme. Wie stark seine paramagnetische Intensität zunehmen mag, wenn seine Temperatur bis zu der des Gefrierpunktes des Quecksilbers sinkt, wie sie an den Polen der Erde herrscht, vermögen wir vorläufig nicht zu sagen. Dieses Gas verhält sich offenbar wie die festen Metalle Eisen, Nickel, Cobalt innerhalb der Grenzen der Temperatur, durch die ihre magnetischen Kräfte beeinflusst werden, und wie bei diesen, so nimmt vielleicht auch der Magnetismus des Sauerstoffs bei der Abkühlung in sehr hohem Maasse zu.

2862. Dies Verhalten bewahrt er auch in der Atmosphäre, wo er mit Stickstoff vermischt ist, so lange als sein physikalischer und chemischer Zustand unverändert bleibt; aber es ist nicht unwesentlich zu bemerken, dass jeder Process, der die Natur dieses activen Bestandtheils der Atmosphäre ändert und ihn in eine Verbindung, sei sie starr, flüssig oder gasförmig, überführt, seine paramagnetischen Eigenschaften aufhebt.

2863. Die Atmosphäre ist also, nach üblicher Ausdrucksweise, ein stark magnetisches Medium. Die magnetische Kraft der auf jedem Quadratfuss der Erdoberfläche ruhenden Luft ist äquivalent 8160 Pfund krystallisirten Eisenvitriols (2794, 2861). Bei jeder Veränderung seiner Dichtigkeit, mag sie barometrischer Art oder durch den directen Einfluss der Sonne bewirkt sein, ändert sich sein magnetisches Verhalten. Ferner bewirkt jede

---

[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, p. 417.
[2]) Ibid p. 406.

Temperaturänderung für sich augenscheinlich eine Aenderung des Magnetismus, abgesehen von der, welche die blosse Volumänderung zur Folge hat, und keine dieser Aenderungen kann vor sich gehen, ohne die magnetische Kraft der Erde zu beeinflussen und Schwankungen ihrer Intensität und Richtung an der Erdoberfläche zu verursachen. Ob nun diese Aenderungen in der Richtung und in solchem Betrage erfolgen, dass hierin eine Ursache für die Variationen des Erdmagnetismus gefunden werden könne, das ist eben die Frage, die ich nun erörtern will, und zu deren Klarlegung ich einen typischen Fall betrachten will, um diesen dann, so gut ich vermag, auf die in der Natur vorkommenden Erscheinungen anzuwenden.

2864. Nehmen wir also an, es existiren zwei gesonderte Luftkugeln, deren Temperatur oder Dichtigkeit eine andere ist als die der umgebenden Atmosphäre. Eine solche Annahme ist zur Veranschaulichung nicht so extravagant, da Prout gezeigt hat, dass in der Atmosphäre grössere oder kleinere Luftmassen umherschwimmen, die durch Temperatur und andere Umstände von den umgebenden Mengen erheblich verschieden sind. Um die Darstellung nicht zu compliciren, wollen wir einstweilen von der Verdünnung in der Höhe absehen und eine dieser Kugeln als *kälter* oder dichter als die benachbarten Mengen annehmen, und zwar in einem Raume, welcher ohne sie ein gleichförmiges magnetisches Feld darböte, d. h. ein Feld, das von parallelen Linien gleicher Kraftintensität durchschnitten wäre.

2865. Die Luft einer solchen Kugel wird die Fortpflanzung der magnetischen Kraft durch den von ihr erfüllten Raum im Vergleich zu dem umgebenden Raume *erleichtern* (2807), so dass durch ihn mehr Kraftlinien gehen werden als sonstwo (2809). Die Vertheilung dieser Linien in Bezug auf die Inclinationsrichtung des Ortes wird einigermassen der in Fig. 7 (2874) dargestellten gleichen; die Kugel wird also wie ein paramagnetischer Leiter (2821, 2822) polarisirt sein. Folglich wird sich die Intensität und die Richtung der magnetischen Kraft nicht bloss innerhalb, sondern auch ausserhalb der Kugel ändern, und zwar, nach vollkommen regelmässigen und wohlbekannten Gesetzen, an verschiedenen Orten in verschiedenen Richtungen.

2866. Betrachten wir zunächst die *Intensität*, die vorher als gleichförmig vorausgesetzt wurde (2864). Sieht man die Intensität als den Ausdruck der Kraftmenge an, die durch einen gegebenen Ort geht, so wird, da zu jedem Querschnitt $a\,a$ einer gegebenen Anzahl von Kraftlinien eine bestimmte Kraftmenge gehört (2809), eine Concentration dieser Linien gegen die Mitte P an dieser Stelle eine Zunahme der Intensität, an anderen Stellen, wie $b\,b$, aus welchen ein Theil der Kraft abgelenkt worden ist, eine Abnahme zur Folge haben. Nimmt man also an, der normale Zustand existire bei a, so wird ein Intensitätsmesser, den man von a nach P führt, nach und nach an Stellen b und c gelangen, wo die Intensität kleiner ist als die normale, und diese Stellen können (je nach ihrer relativen Temperatur zu der umgebenden Luft, ihrer Grösse und anderen Umständen)

einzeln oder beide zugleich ausserhalb oder innerhalb der Kugel P liegen; er wird alsdann zu Stellen normaler Intensität und schliesslich zu solchen gelangen, deren Intensität grösser ist als die des umgebenden Raumes; an der anderen Seite von P würde er entsprechende Verschiedenheiten in umgekehrter Ordnung antreffen.

2867. Führt man das Instrument aufwärts in Richtung der Inclination von *e* aus, wo die Intensität als normal angesehen werden kann, so wird es nach und nach an Stellen *f*, *g* etc. gelangen, in denen die Intensität zunimmt bis zum Punkte P; von dort wird es Stellen von immer geringerer Intensität durchschreiten, bis es in *p* wieder die Kraft von normaler Stärke antrifft. Wenn das Instrument nicht längs *der Inclinationsrichtung* hinaufgeführt wird, so wird es natürlich auf Variationen wie die auf der Linie *a*P stossen, die an Ausdehnung mehr und mehr zunehmen, bis sie in der mit der Linie *a*P zusammenfallenden Richtung, welche rechtwinkelig zur Inclinationsrichtung ist, ein Maximum erreichen. Es ist also etwas ganz Anderes in unseren Breiten, wo die Inclination nahezu 70^0 beträgt, sich durch eine solche Kugel mit kalter Luft erheben, als am Aequator, wo erstere 0^0 ist, und die aus dieser Differenz sich nothwendig ergebenden natürlichen Folgen sollen später aufgedeckt werden.

2868. Allein eine Magnetnadel oder ein Magnetstab ist kein hierzu geeigneter Intensitätsmesser, d. h. sie lassen uns diese Unterschiede gar nicht oder in umgekehrtem Sinn erkennen. Um dies einzusehen, müssen wir bedenken, dass eine Magnetnadel dadurch in Schwingungen versetzt wird, dass sie vermöge ihres Magnetismus und ihrer magnetischen Polarität eine gewisse Menge von Kraftlinien auf sich häuft, die sonst den sie umgebenden Raum durchkreuzen würden; und wenn wir annehmen, dass sie durch die Temperatur keine Aenderung erleidet, so würde sie doch unter sonst gleichen Umständen durch jede Aenderung in der Intensität dieser Linien proportional derselben afficirt werden. Allein da sie unter den natürlichen Umständen von der Atmosphäre umgeben ist, einem Medium, dessen magnetische Beschaffenheit sowohl durch Wärme als auch durch Verdünnung Schwankungen unterliegt, und das durch eben diese Schwankungen die Intensität oder Quantität der Kraft beeinflusst, so werden die Angaben der Magnetnadel mit diesen Aenderungen ebenfalls variiren. Befindet sie sich beispielsweise in einer grossen Kugel von Sauerstoff, so wird sie, meine ich, durch die Anzahl der Schwingungen oder sonstwie eine gewisse Intensität anzeigen; wird der Sauerstoff expandirt, so wird sie eine höhere Intensität anzeigen, obschon dieselbe Anzahl von Kraftlinien und magnetische Energie wie vorher durch den Sauerstoff gehen würde. Wird der Sauerstoff verdichtet, so wird er ein besserer Leiter, und ich meine, dass er *mehr*, und der Magnet *weniger* Kraft fortleiten würde; denn die Kraft würde theilweise von dem ungeänderten Magnet auf den verbesserten Leiter seiner Umgebung übertragen werden.

2869. Mit Sauerstoff lassen sich diese Versuche kaum anders als mittelst äusserst empfindlicher Apparate anstellen, aber ähnliche Wirkungen lassen sich an anderen analogen Fällen leicht nachweisen. Man hänge z. B. ein etwa 1 Zoll langes dünnes Röhrchen von Flintglas von $^1/_2$ Zoll Durchmesser, mit einer gesättigten Lösung von Eisenvitriol gefüllt, an einem Coconfaden horizontal (2279) zwischen den Polen des Elektromagnets in einem Gefässe auf, das entweder Luft oder Wasser oder ein anderes Medium enthält. In Luft wird sich das Röhrchen mit einer gewissen Kraft axial stellen und sich analog einer unter dem Einfluss des Erdmagnetismus befindlichen Nadel verhalten. Nun fülle man das Gefäss mit Wasser und das Röhrchen wird sich mit grösserer Kraft als vorher einstellen, obschon das Wasser ein schlechterer magnetischer Leiter ist als die Luft, die vorher darin war; und gerade weil das Wasser ein schlechterer Leiter *ist*, zeigt der flüssige Magnet oder Prüfungskörper eine stärkere Kraft an. Erhöht man die Leitungsfähigkeit des Mediums durch Zusatz von Eisenvitriol, so wird das Röhrchen eine geringere Stärke anzeigen, zuerst auf den Stärkegrad zurückgelangen, den es in Luft hatte, und dann auf geringere herabsinken, was sich darin zu erkennen giebt, dass es, aus der axialen Lage herausgebracht, mit immer geringerer und geringerer Kraft in dieselbe zurückkehrt. So giebt also die zur Messung der Intensität oder magnetischen Kraft (unter beiden Ausdrücken verstehe ich hier ein und dasselbe) angewandte Magnetnadel in gewisser Weise die auf sie selbst concentrirte Kraft, ja, ich meine, sie thut es genau, so lange der magnetische Zustand des umgebenden Mediums ungeändert bleibt; aber in verschiedenen Medien oder in einem sich verändernden Medium wird sie, meine ich, nicht genau die herrschende Intensität, d. h. nicht direct die durch dieselben gehende Kraftmenge messen. In Luft wird der Unterschied unter verschiedenen Bedingungen sehr klein sein; dennoch ist es gerade dieser Unterschied, welcher hier, beim *atmosphärischen Magnetismus*, in Betracht kommt; und es ist sehr wichtig zu wissen, ob, wenn der Magnet eine Zunahme der Kraftintensität anzeigt, dies einzig und allein von einer wirklichen Zunahme der Kraft an ihrer Quelle, der Erde, herrührt, oder zum Theil von einer Aenderung der uns bisher unbekannten magnetischen Constitution des den Magnet umgebenden Raumes.

2870. Wenn wir an dem, was man nun oft unterschiedslos magnetische Kraft oder Intensität nennt, *Quantität* und *Spannung* unterscheiden, so werden wir die Sache leichter begreifen. Nach der gegenwärtigen Vorstellung zeigt eine Nadel beides als magnetische Kraft an, ohne einen Unterschied zwischen ihnen erkennen zu lassen; dennoch bringen sie oft dem Sinne nach entgegengesetzte Wirkungen hervor. Wenn sie zu- oder abnehmen, beeinflussen beide die Nadel in gleicher Weise; allein wenn man annimmt, dass die Spannung bei gleichbleibender Quantität, und die Quantität bei gleichbleibender Spannung sich ändern könne, so werden die Angaben der Nadel unsicher. Wenn die Spannung in einer gegebenen Region

durch Abnahme des Leitungsvermögens wächst, so wird die Nadel eine *Kraftzunahme* anzeigen; wächst sie in Folge einer Zunahme der magnetischen Kraft der Erde durch irgend einen inneren Vorgang, so wird die Nadel gleichfalls eine *Kraftzunahme* anzeigen und diese Wirkung nicht von der vorigen unterscheiden lassen. Wächst in einer Region die Quantität durch Zunahme des Leitungsvermögens, so wird die Nadel keine Zunahme, sondern im Gegentheil eine *Abnahme* der Kraft anzeigen, weil die Spannung vermindert ist; oder wenn die Quantität durch Verringerung des Leitungsvermögens abnimmt, so wird sie eine *Zunahme* der Kraft anzeigen. Die Kraft könnte sogar an Quantität verlieren und an Spannung in solchem Maasse gewinnen, dass die Nadel keine Aenderung zeigte; oder sie könnte an Quantität gewinnen und an Spannung verlieren, und die Nadel verhielte sich dennoch der Gesammtwirkung gegenüber völlig indifferent.

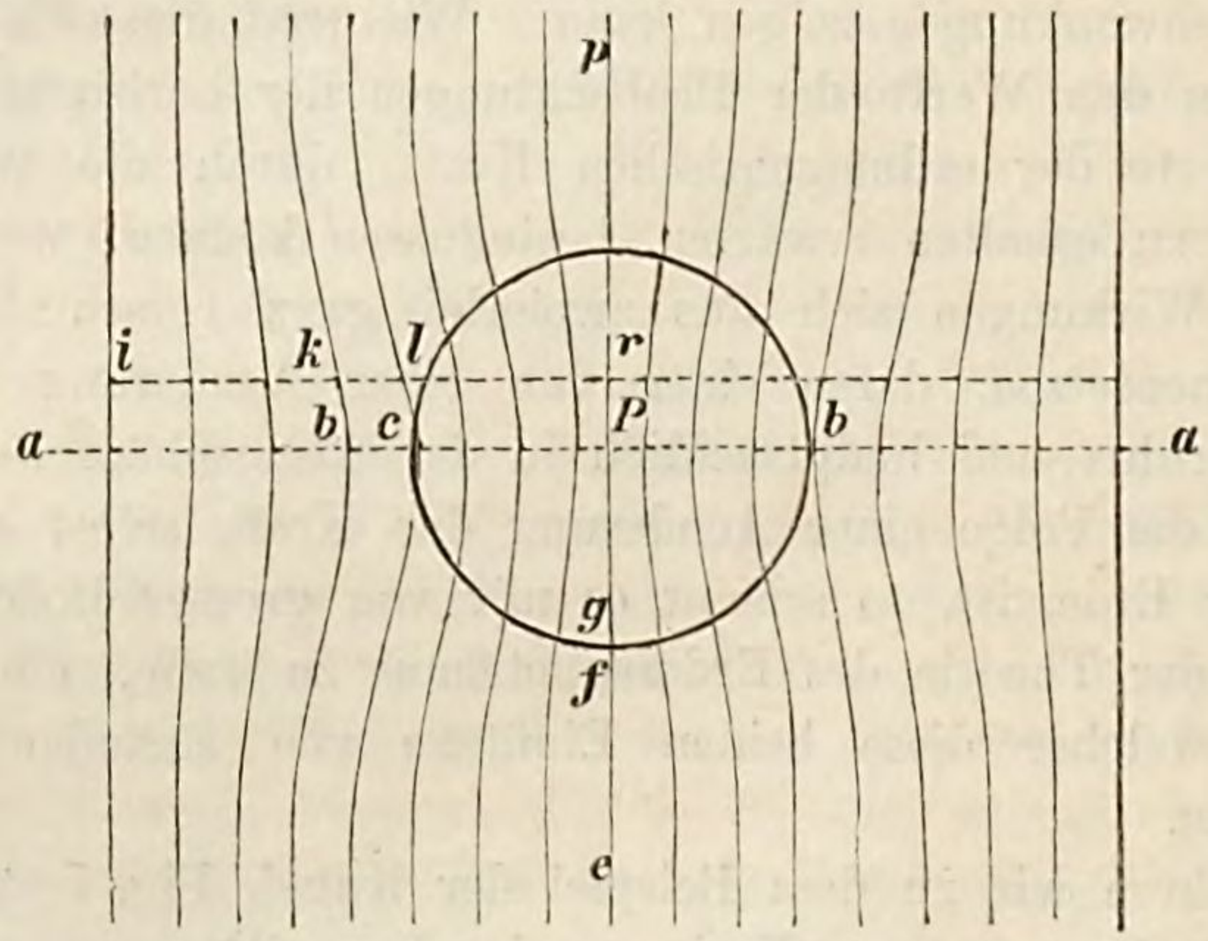
2871. Wenn meine Ansicht richtig ist, so gestattet der Magnet in seiner bisherigen Anwendung keine vollkommene Messung der Kraft des Erdmagnetismus; denn es kann sein, dass diese sich gar nicht ändert, während der Magnet unter dem Einfluss von Tag und Nacht, von Sommer und Winter Schwankungen zeigen kann. Wie *weit* diese Unsicherheiten in seinen Angaben den Werth der Beobachtungen der horizontalen und verticalen Componente der erdmagnetischen Kraft, durch die wir Aufschluss über dieselben zu erhalten erwarten, beeinflussen können, weiss ich nicht; allein da die Wirkungen sich aus zweierlei ganz verschiedenen Bestandtheilen zusammensetzen, deren einer von einer Aenderung des Leitungsvermögens herrührt und hauptsächlich in der Atmosphäre seinen Sitz hat, deren anderer die Folge einer Aenderung der Kraft selbst an ihrem Ursprung, in der Erde, ist, so scheint es mir von grosser Bedeutung für die Entwickelung der Theorie des Erdmagnetismus zu sein, eine Methode zu haben, nach welcher diese beiden Einflüsse von einander unterschieden werden könnten.

2872. Kehren wir zu dem Beispiel der Kugel, Fig. 7 (2874), zurück, so scheint mir, dass ein zum Nachweis der Intensität angewandter Magnet bei P eher eine geringere als eine grössere Intensität anzeigen würde, aus dem Grunde, weil die Leitungsfähigkeit der ganzen Kugel zugenommen hat. Dasselbe würde sich, obschon die scheinbare Verminderung der Intensität hier wahrscheinlich grösser wäre als sonstwo, auch an anderen Stellen, insbesondere rechts und links, ja sogar bei *bb* zeigen, wo der durchgelassene Theil der Kraft nicht wie bei P grösser, sondern kleiner ist als in dem normalen oder gleichförmigen Zustande des magnetischen Feldes. Eine diamagnetische Luftkugel, d. h. eine, die wärmer oder verdünnter wäre als der umgebende Raum (2877), würde zwar, da sie ein schlechter Leiter ist, weniger Kraft fortleiten, aber dennoch bewirken, dass der Magnet sich mit grösserer Kraft einstellt und sowohl innerhalb als auch in äquatorialer Richtung ausserhalb der Kugel eine Zunahme der Intensität anzeigt.

2873. Wenn es also wahr ist, dass die Veränderungen des Mediums (2869) solche Einflüsse auf den Magnet ausüben, und dass diese in Gasen einen merklichen Grad erreichen können, so könnte ein Magnet in Sauerstoff eine andere Anzahl von Schwingungen vollführen als in derselben Zeit in Stickstoff von derselben Dichtigkeit, da diese Gase in ihrem magnetischen Verhalten sehr verschieden von einander sind. In Stickstoff würde er die grössere Anzahl machen. Eine feine Torsionswaage würde vielleicht noch empfindlicher für einen derartigen Nachweis sein; aber wahrscheinlich müsste der Raum um die Nadel gross sein, und man müsste feststellen, dass die beiden Media der schwingenden Nadel gleichen mechanischen Widerstand entgegensetzten.

2874. Auf die *Richtung* könnte die als Beispiel gewählte Kugel (2864) schief gegen die Horizontal- und Verticalebene einwirken und somit die Declination und die Inclination ändern, entweder einzeln oder beide zugleich. In einer zur allgemeinen Inclination des umgebenden Raumes (Fig. 7) parallelen Centrallinie würde sich die Richtung nicht ändern. Ebenso wenig

Fig. 7.



würde in einer anderen zu dieser senkrechten Centrallinie (d. h. irgend einer Linie in der Aequatorialebene) aP eine Aenderung der Richtung stattfinden, aber wohl in allen übrigen. So würde, wenn die freie Nadel auf der Linie ir von i nach k käme, ihr unteres Ende nach innen gegen die centrale Inclinationslinie P getrieben werden; dieser Effect würde, nachdem er etwa bei l ein Maximum erreicht hätte, allmählich wieder abnehmen, und bei r würde die Neigung der Nadel wieder die normale sein. Entsprechende Vorgänge würden sich auf der anderen Seite der axialen Linie pe abspielen; und wenn man annähme, dass die Nadel, deren Inclination an irgend einer Stelle so afficirt würde, in einem Kreise um die axiale Linie pe herumgeführt würde, so befände sie sich immer auf dem Mantel eines Kegels, dessen Spitze nach unten gekehrt wäre.

2875. Die Aenderungen der Inclination unterhalb der Aequatorialebene aP werden der Grösse nach dieselben, aber der Richtung nach umgekehrt sein, so dass die aus ihrer normalen Lage abgelenkte Magnetnadel mit ihrem oberen Ende nach innen gegen die axiale Linie pe zeigen würde, oder, um die axiale Linie herumgeführt, sich stets auf dem Mantel eines Kegels befinden würde, dessen Spitze oben läge.

2876. Sonach würde in einer solchen Luftkugel die Inclination in jedem Azimuth eine andere sein, und zwar würde der Sinn derselben in den oberen und unteren Theilen der Kugel und des umgebenden Raumes entgegengesetzt sein.

2877. Nehmen wir als Beispiel eine andere Luftkugel (2864) von höherer Temperatur als die umgebende Atmosphäre, so würde ihr Verhalten das eines diamagnetischen Leiters und durch Fig. 9 (2807) dargestellt sein; sie würde ebenso wie die vorige Kugel, nur in entgegengesetztem Sinne, die Intensität und Richtung der Kraftlinien zu ändern im Stande sein. Da diese Kugeln die Richtung der Kraftlinien beeinflussen, so kann ihre Wirkung auf eine in ihren Bereich kommende Nadel in ihrem Innern oder in ihrer Nachbarschaft zum Theil dargestellt werden durch einen Magnet, der für die kalte Kugel die Richtung der Nadel, für die warme die entgegengesetzte Richtung hätte; allein da die Kraftlinien des combinirten Systems der Erde und eines solchen Magnets in ihrer Anordnung sehr verschieden sind von den Kraftlinien der Erde, wie sie von warmen oder kalten Luftmassen, die bloss Leitungspolarität (2820) besitzen, beeinflusst werden, so wäre es zuviel gesagt, dass sie einander entsprechen oder dass ihr Einfluss auf die Intensität oder Richtung bei gleichem Abstand von dem Mittelpunkte der Luftkugel und dem stellvertretenden Magnet derselbe wäre.

Fig. 8.

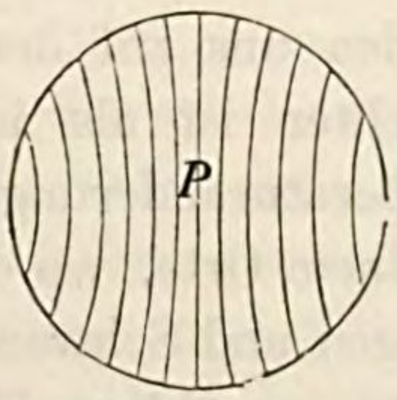
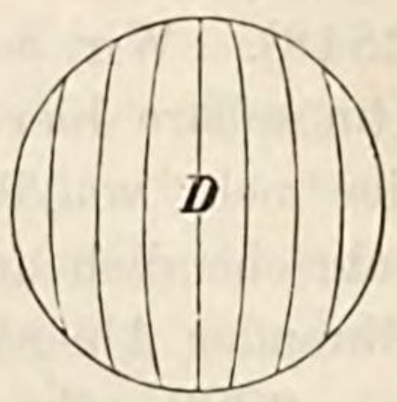


Fig. 9.



2878. Wollen wir nun über diese hypothetischen und verhältnissmässig einfachen Beispiele, die ich bloss angeführt habe, um den Sinn von den Resultaten des Versuches zu dem vorausgesetzten Zustand der Dinge hinsichtlich unserer Atmosphäre und der Erde zu lenken, hinausgehen, so haben wir zu bedenken, dass zwar eine Wirkung vorhanden sein wird, dass die Intensität und Richtung der magnetischen Kraft auf der Erdoberfläche sich mit der Temperatur und Dichtigkeit der Atmosphäre ändern muss, dass dies aber doch in ganz anderer Weise als bei der angenommenen Luftkugel geschehen wird. Denn ein Fall wie dieser dürfte niemals vorkommen, obschon die Verschiedenheiten in der Natur fast unendlich sind. Dennoch ist der Vergleich im Princip stichhaltig, und wir dürfen erwarten,

dass, wenn die Sonne uns im Westen verlässt, dies einen der Annäherung einer kalten Luftmasse von Osten her entsprechenden Effect zur Folge haben wird, der sich steigert und dann abnimmt, und dass ihm, wenn die Sonne wieder aufgeht und warme Luft mit sich bringt, eine Reihe anderer Wirkungen folgt.

2879. Die Dichtigkeit der Atmosphäre nimmt mit der Höhe ab, und diese Abnahme wird den Durchgang der magnetischen Kraft beeinflussen, aber so lange sie constant ist, wird auch der durch sie erzeugte Effect constant sein. Der Theil der Atmosphäre, welcher der Wärmewirkung der Sonne unterliegt, wird hinsichtlich seiner Dicke mehr einem um die Erde gewickelten Streifen als einer Kugel gleichen. Doch wird die Ablenkung der Kraftlinien über und unter dieser Schicht erfolgen und sich gemäss der bekannten Wirkung und der vollkommenen Bestimmtheit der magnetischen Kraft (2809) in den Raum darüber und darunter in die Erde erstrecken (2848). Wir befinden uns auf dem Boden dieser Luftschicht, aber da die Atmosphäre hier dichter ist als in der Höhe und auch in vielen Fällen hier mehr von Temperaturänderungen beeinflusst wird, so befinden wir uns wahrscheinlich an einem Orte, wo die von den vorausgesetzten Ursachen herrührenden Ablenkungen und Schwankungen in bedeutendem Maasse erfolgen.

2880. Es giebt unzählige Umstände, welche jede allgemeine oder mittlere Vertheilung der Lufttemperatur mehr oder weniger aufheben würden. So hat der Wechsel von Meer und Land ungleiche Temperaturänderungen zu verschiedenen Jahreszeiten zur Folge, und wie weit dies geht, kann man aus Dove's schönen Isothermen-Karten ersehen, die glücklicherweise jetzt hier zu haben sind.[1]) Es lässt sich erwarten, dass diese Aenderungen nicht bloss Verschiedenheiten in der Regelmässigkeit, Richtung und Grösse der magnetischen Abweichungen zur Folge haben, sondern auch wegen ihrer Nähe Unterschiede, die mehrmals grösser sind, als der mittlere Unterschied für eine gegebene kurze Periode, und sie können auch Unregelmässigkeiten in der Zeit ihres Eintretens bewirken.

2881. Erwägt man die wahrscheinlichen Folgen des magnetischen Einflusses der Atmosphäre, so scheint es mir, dass, wenn man die erdmagnetische Kraft von allen periodischen und kleinen Störungen befreien und ihre Vertheilung für eine gegebene Zeit ermitteln könnte, immer noch gewisse Effecte zurückbleiben würden, die einen Theil des atmosphärischen Magnetismus bildeten. Beispielsweise befindet sich über einem Stück der Erdoberfläche unter den Breiten von 24^0 bis 34^0 eine grössere Gewichtsmenge Luft als über dem gleichen Stück in höheren Breiten oder am Aequator, und dies muss einen Unterschied in der Vertheilung der Kraftlinien gegen die, welche existiren würde, wenn in jener Beziehung Gleichheit herrschte oder die Atmosphäre nicht vorhanden wäre, zur Folge haben. Ferner ist die Lufttemperatur

---

[1]) Report of the British Association, 1848, Reports, p. 85.

in den Aequatorialgegenden höher als nördlich und südlich davon, und da Temperaturerhöhung das Leitungsvermögen für Magnetismus vermindert, so muss die durch jene Gegenden gehende Kraftmenge kleiner und die durch kältere Regionen gehende grösser sein, als wenn die Luft über der ganzen Erdoberfläche durchschnittlich dieselbe oder gar nicht vorhanden wäre. Ferner ist die Temperaturdifferenz in grösserer Höhe über dem Aequator grösser als in anderen Regionen, und daher ist der untere Theil kein so guter Leiter im Verhältniss zu dem oberen oder zum Raume als an den Stellen, wo die Differenz nicht so gross ist. Der Magnetismus muss also dort einigermassen geschwächt sein, und die Kraftlinien müssen, gemäss den oben entwickelten Principien (2808, 2821, 2877), mehr oder weniger von der wärmeren Luft nach den kälteren Partien hin abgelenkt sein, nach der kälteren Atmosphäre und dem Raume darüber oder nach der Erde darunter.

2882. Das Resultat der *jährlichen Variation*, das sich als Folge der magnetischen Constitution und Beschaffenheit der Atmosphäre erwarten lässt, scheint mir folgender Art zu sein. Nehmen wir an, dass die Drehungsaxe der Erde senkrecht stehe zu der Ebene ihrer Drehung um die Sonne, und sehen wir einstweilen von anderen Ursachen der magnetischen Variation als den von der Atmosphäre herrührenden ab, so würden die beiden Erdhälften und die sie umhüllenden Luftmengen in gleichem Grade von der Sonne erwärmt werden, oder wenigstens in einen von der Vertheilung von Land und Wasser bedingten constanten relativen Zustand gelangen; und die Lage der magnetischen Kraftlinien, die sie unter dem Einfluss der sie beherrschenden Hauptursachen, was diese auch sein mögen, eingenommen hätten, würde keine Aenderung erleiden, die man einer jährlichen Aenderung der Atmosphäre zuschreiben könnte, da ja das tägliche Mittel des atmosphärischen Einflusses für einen gegebenen Ort zu allen Zeiten des Jahres gleich sein würde. Unter diesen Umständen würde man die Intensität und Richtung der magnetischen Kräfte als constant ansehen können, vorausgesetzt, dass dieselben durch die Verschiedenheit des Abstandes der Erde von der Sonne während ihres Umlaufs um dieselbe keine merkliche Aenderung erleiden würden. Die beiden magnetischen Hemisphären würden einander gleich und äquivalent sein, und man könnte sie als in ihrem mittleren oder normalen Zustande befindlich ansehen.

2883. Da aber die Drehungsaxe der Erde um $23^0\ 28'$ zur Ebene der Ekliptik geneigt ist, so wird abwechselnd bald die eine bald die andere Halbkugel wärmer oder kälter werden, und dies kann eine Aenderung des magnetischen Zustandes zur Folge haben. Die Luft der kälteren Hemisphäre wird die magnetische Wirkung besser fortleiten als bei mittlerer Temperatur, und die Anzahl der durch sie gehenden Kraftlinien wird grösser werden, während die erwärmte Luft der anderen Hemisphäre weniger gut leiten wird als

vorher, und die Intensität sich vermindern wird. Ausser diesem Einfluss der Temperatur wird sich noch ein anderer geltend machen, der von der Vermehrung der Luftmasse auf der kälteren Halbkugel, die selbst eine Folge ihrer Zusammenziehung und der gleichzeitigen Ausdehnung der Luft auf der wärmeren Erdhälfte ist. Beides hat den Erfolg, die Abweichung des Magnetismus vom normalen Zustande in den beiden Hälften zu vergrössern. Da nun in Folge des jährlichen Umlaufs der Erde die zu einer Zeit kältere Hälfte zu einer anderen Zeit die wärmere wird, so sinkt die magnetische Intensität so weit unter ihren Mittelwerth als sie ihn vorher überstiegen hatte, während auf der anderen Hälfte die magnetische Intensität nun einen höheren Werth erreicht.

2884. Da die Summe der magnetischen Kräfte der Erde, welche von irgend einem Orte, wo Inclination vorhanden ist, an der einen Seite des magnetischen Aequators ausgehen, einer gleichen Kraftsumme an der anderen Seite entsprechen muss (2809), so können sie auf der einen Erdhälfte nicht stärker, oder auf der anderen nicht schwächer werden, ohne eine entsprechende Zusammendrängung einerseits und Ausbreitung andererseits. Es lässt sich daher erwarten, dass die rings die Erde umgebende Linie, wo die Inclination Null ist, sich alljährlich abwechselnd nach Norden und Süden bewege, oder dass ein anderer diesem gleichwerthiger Vorgang stattfinde. Unter diesem Gesichtspunkte können wir den Zustand der beiden Erdhälften so auffassen, dass wir eine jährliche Undulation der Kraft zwischen ihnen hin und her annehmen, während welcher sich zwar weder ihr Charakter noch ihre allgemeine Vertheilung ändert, aber doch in unserem Winter eine Concentration und Zunahme der Intensität in den nördlichen, und gleichzeitig eine Zerstreuung und Abnahme der Intensität in den südlichen Gegenden stattfindet, im Sommer dagegen das Umgekehrte eintritt.

2885. Hinsichtlich der *Richtung* lassen sich ebenfalls Aenderungen voraussehen. Angenommen, die magnetischen Pole der Erde fielen mit den astronomischen zusammen, so müsste zunächst die Inclination auf der kälteren Halbkugel nach den mittleren und polaren Theilen hin wachsen, nach dem Aequator hin aber abnehmen; es würde also auf der Halbkugel, wo die Kraft stärker ist, eine Concentration, auf der, wo sie schwächer ist, eine Zerstreuung stattfinden. Auf der wärmeren Halbkugel müsste die Inclination nach den mittleren und polaren Theilen hin abnehmen und gegen den magnetischen Aequator hin wachsen. Der magnetische Aequator würde sich alljährlich zugleich mit dem ganzen System von Magnetlinien von seinem mittleren Ort ein wenig nach Norden und Süden verschieben. Da aber die magnetischen Pole der Erde nicht mit ihren astronomischen Polen zusammenfallen oder mit denjenigen, welche man die Pole des Temperaturwechsels nennen könnte, so wird hieraus eine Verschiedenheit der Richtung entstehen.

2886. Ferner kann es sein, dass der Paramagnetismus des Sauerstoffs bei der Abkühlung in rascherem Verhältniss wächst als die Temperatur

abnimmt, so dass die hauptsächliche Aenderung in der Vertheilung der erdmagnetischen Kraft im äussersten Norden und Süden erfolgt, was im Verein mit der fixirenden Kraft der Erde (2907)*) sogar die umgekehrte Aenderung von der zur Folge haben kann, die vorher in niederen Breiten vermuthet wurde. Das Gleichgewicht der magnetischen Kraft würde, wenn in unserem Winter die Kraftlinien in den Polargegenden dicht zusammen und in niederen Breiten weiter aus einander lägen, ebenso gut aufrecht erhalten bleiben, als wenn *alle* Linien in unserer Halbkugel zusammengedrängt und verstärkt wären und durch eine entsprechende Aenderung in der südlichen compensirt würden. In dem ersteren Falle würde auf jeder Halbkugel für sich das Gleichgewicht ihrer Kräfte hergestellt sein, im letzteren würden sie sich gegenseitig das Gleichgewicht halten. Es kann, glaube ich, nicht zweifelhaft sein, dass sofern die Masse der Erde und der Raum über unserer Atmosphäre unveränderlich sind in Bezug auf die jährliche und tägliche Variation, sie auch das Bestreben haben, jede bloss von einer Aenderung der Temperatur und des Zustandes der Luft abhängige Schwankung einzuschränken, indem sie gleichsam die beiden Reihen der Veränderungen, die Zunahme und Abnahme der Intensität oder die Abweichung der Richtung nach rechts und links, mehr einengen als dies sonst der Fall wäre.

2887. Wenn man ferner annimmt, dass eine Halbkugel in ihrer Gesammtheit durch eine Temperaturänderung *auf einmal* in demselben Sinne *beeinflusst wird*, so wird *dies in verschiedenen Breiten nicht in gleichem, sondern in verschiedenem Maasse geschehen*, da der Betrag dieser Aenderung ein verschiedener ist.

2888. Die Verschiedenheit von Land und Wasser (2880) wird ein weiterer Anlass sein, die Gleichförmigkeit der allgemeinen Erscheinung aufzuheben, und bewirken, dass auf der kälteren Halbkugel in gewissen Gegenden die magnetische Kraft verhältnissmässig stärker zunimmt als in anderen; und wenn diese Gegenden auf entgegengesetzten Seiten des magnetischen Meridians eines Ortes liegen, so werden sie wahrscheinlich im Stande sein, die Declination der Nadel an diesem Orte zu ändern.

2889. Da die jährlichen Temperaturänderungen am Aequator geringer sind als in nördlicheren oder südlicheren Gegenden, so tritt dort wahrscheinlich nur eine geringe oder gar keine jährliche Variation ein; und zwar keine, insofern die Aenderung der Temperatur oder der Dichtigkeit der Luft in Betracht kommt, sondern nur diejenige, welche eine Folge der abwechselnden Aenderungen an den zu beiden Seiten liegenden Gegenden ist (2884).

2890. Noch eine andere Erscheinung, die als eine jährliche Variation angesehen werden kann, aber mit der täglichen Aenderung im Zusammen-

---

*) Diese Verweisung scheint irrthümlich zu sein, und es ist wohl 2919 gemeint. D. Ü.

hang steht, lässt sich vermuthen. Da die auf einen gegebenen Ort in mittleren nördlichen oder südlichen Breiten einwirkenden Temperaturänderungen der Atmosphäre im Sommer grösser sind als im Winter, so lässt sich erwarten, dass die entsprechenden magnetischen Abweichungen in derselben Weise variiren, also auf der nördlichen Halbkugel grösser sein werden, wenn die Sonne nördlich vom Aequator steht, kleiner, wenn sie sich auf der südlichen Halbkugel befindet, wo sie entsprechende Aenderungen bewirkt.

2891. Nach einer sehr wichtigen Untersuchung von Sabine[1]), die sich auf die Beobachtungsergebnisse in Toronto und Hobarton gründet, scheint die magnetische Intensität in denjenigen Monaten, in denen auf der nördlichen Halbkugel Winter und auf der südlichen Sommer ist, in beiden Halbkugeln grösser zu sein. Aehnliche Resultate an anderen Orten, die man sehr vermisst, würden zeigen, ob die verschiedene Vertheilung von Land und Wasser mit dieser Frage etwas zu schaffen habe, oder ob die Resultate in Toronto und Hobarton lediglich ein Ausdruck für die Einflüsse der Erdhälften an sich sind. Angenommen, dies treffe für Toronto und Hobarton zu, so ist in den Monaten, während welcher die nördliche Halbkugel Winter und die südliche Sommer hat, die Inclination in beiden Erdhälften grösser (d. h. in Toronto die nördliche und in Hobarton die südliche). Sehr wichtig wäre es, zu ermitteln, ob in den äquatorialen Theilen der Erde eine *jährliche* Schwankung der Inclination oder Gesammtkraft stattfindet. Es wäre wohl der Mühe werth, eigens zu diesem Zweck eine Station zu errichten; die erforderlichen Instrumente sind sehr einfach, und zu den Beobachtungen reichte ein einziger Beobachter aus. Sie sind in der angeführten Arbeit beschrieben. Unglücklicherweise sind solche Beobachtungen nicht einmal in Grossbritannien gemacht.

2892. In welcher Weise die tägliche Variation durch die Wirkung der Sonne, in deren Strahlen die Erde rotirt, auf unsere Atmosphäre verursacht oder beeinflusst werden kann, ist im Allgemeinen bereits angegeben worden. Der ganze der Sonne ausgesetzte Theil der Atmosphäre erlangt die Fähigkeit, die ihn durchschneidenden magnetischen Kraftlinien zu brechen, und der ganze die unbeleuchtete Halbkugel umhüllende Theil nimmt gleichfalls einen in Bezug auf den mittleren Zustand der Atmosphäre veränderten aber entgegengesetzten Zustand an. Es ist, als ob die Erde in zwei ungeheuren magnetischen Linsen eingeschlossen wäre, welche die Richtung der durch sie gehenden Kraftlinien abzuändern im Stande wären.

2893. Ich habe bereits gesagt, dass zur Nachtzeit die Rolle, welche

---

[1]) On the means adopted for determining the Absolute Values, Secular Change, and Annual Variation of the Magnetic Force, Philosophical Transactions, 1850, p. 201.

die so afficirte Atmosphäre spielt, in gewissem Grade verglichen werden könnte mit der eines ungeheuren, lockeren und sehr schwachen gewöhnlichen Magnets, der die ihm zufolge der Inclinationsrichtung zukommende natürliche Lage hätte, über uns von Ost nach West fortginge und uns während der Zeit in seinen Wirkungsbereich einschlösse; bei Tage würde das Verhalten gleichkommen einer ähnlichen Wanderung, nicht eines entsprechenden Magnets in umgekehrter Richtung, sondern einer entsprechenden Kugel von diamagnetischer Substanz (2821). Gesetzt, das Maximum der Wärme und Kälte träte um Mittag und Mitternacht ein, so dürften wir erwarten, dass auch die Maxima der Aenderung der Intensität in der Nähe dieser Zeiten erfolgte (2824, 2866), denn unter sonst gleichen Umständen sind die centralen Theile der erwärmten und erkalteten Massen diejenigen, wo der Intensitätsunterschied am grössten sein müsste.

2894. Man könnte vermuthen, dass diese Aenderung der *Intensität* am grössten an den Theilen der Erde sein würde, über welche die Sonne senkrecht oder nahezu senkrecht hinweggeht; doch kann dies wenigstens von zwei Umständen abhängen. Erstlich davon, ob der Unterschied zwischen der Tages- und Nachttemperatur hier grösser ist als an anderen Orten, da die Grösse der Aenderung zum Theil von dieser Differenz bedingt sein kann; und ferner davon, ob der Betrag des zu erwartenden Einflusses für eine gleiche an dem Thermometer gemessene Temperaturdifferenz derselbe ist (2886). Wenn künftige Messungen (2960) zeigen sollten, dass das Leitungsvermögen des Sauerstoffs (2800) bei niedriger Temperatur mit der weiteren Abnahme derselben stärker wächst als bei gleicher Abnahme von höherer Temperatur (wobei die dieser Temperaturerniedrigung entsprechende Zusammenziehung (2861) einbegriffen sei), so könnten die von der Sonne entfernteren Theile stärker afficirt werden, als die unter ihr befindlichen, oder wenn das Gegentheil der Fall wäre, weniger als man sonst erwarten dürfte.

2895. Hinsichtlich der täglichen Schwankungen ist das Wesentliche der zu erwartenden Aenderungen in der *Richtung* der erdmagnetischen Kraftlinien oder der Inclination und Declination der Magnetnadel bereits angegeben worden (2879), und es bleibt mir nur übrig, diese Erwartungen mit einigen einfachen Beobachtungsbeispielen allgemein darauf hin zu vergleichen, um zu sehen, ob die thatsächliche *Richtung* der Wirkung mit der Theorie übereinstimmt, und ob ich die Wirkung mit einiger Wahrscheinlichkeit auf ihre wahre Ursache zurückgeführt habe. Zu diesem Ende will ich mich einstweilen gänzlich auf einen Theil der täglichen Variation beschränken, nämlich auf den Einfluss der Sonne und der Atmosphäre, wenn erstere in den Meridian tritt und über ihn hinweg schreitet.

2896. Ich benutzte hierzu den letzten Band des mit Geist und Sorgfalt bearbeiteten Werkes von Sabine[1]) und nehme als Beispiel die Vorgänge

[1]) Magnetical and Meteorological Observations, Hobarton, vol. I, 1850.

in Hobarton. Das dortige Observatorium liegt unter 42^0 52′,5 südlicher Breite und 147^0 27′,5 östlicher Länge von Greenwich. Die absolute Declination beträgt 9^0 60′,8 Ost und die Inclination 70^0 39′ Süd. Um die Maximum- und Minimum-Temperatur beisammen zu haben, habe ich aus den sieben Jahren 1841—1848 das Mittel der Temperatur des Januars (Sommer) und des Juni's (Winter) für entsprechende Tages- und Nachtstunden von pp. LXXXIV und CVIII auf Tafel I, Fig. 10 übertragen, wo die mittlere Zahlenreihe die Stunden, die Linie nächst darunter die Temperatur von 30^0 F. und die beiden darunter liegenden Curven die mittlere stündliche Temperatur für Sommer und Winter darstellen. Die kurzen Striche geben allgemein die Richtung der Nadel, östlich oder westlich von ihrer mittleren Lage an, wobei das obere Ende das nördliche ist. Die Lagen um Mittag sind durch voll ausgezogene Striche bezeichnet, da sich an sie die Erläuterung passend unmittelbar anschliesst.

2897. Das Nordende der Magnetnadel steht zu Hobarton um 2 Uhr am östlichsten und um 21 Uhr am westlichsten. Von dieser Zeit ab erreicht es aus der äussersten westlichen Lage innerhalb fünf Stunden die andere Grenze der Abweichung, also um 2 Uhr die äusserste östliche Ablenkung, und braucht dann die übrigen neunzehn Stunden, um bis zum äussersten West zurückzukehren. Im Sommer erreicht es die grösste östliche und westliche Declination um 2 resp. um 21 Uhr, im Winter um 3 resp. 22 Uhr. Die verticalen Lagen zeigen, zu welchen Stunden die Declination 0 ist und mit Sabine's Nullpunkt übereinstimmt. Indem die Nadel von 21 bis 2 Uhr von einer Grenze ihrer Abweichung zur andern geht, wandert das nördliche oder obere Ende in umgekehrter Richtung wie die Sonne, so dass beide den Meridian nahe um Mittag oder etwas früher in entgegengesetzter Richtung schneiden. Um 2 Uhr steht die Nadel still und kehrt darauf, der Sonne folgend, nach West zurück. Es ist gut zu bemerken, dass das Nordende der Nadel, dessen Bewegung eben beschrieben wurde, das dem Aequator zugewandte und auch das obere Ende der Inclinationsnadel zu Hobarton ist. Diese Festsetzung wird jetzt grössere Bedeutung erlangen.

2898. Die auf die Nadel wirkende Ursache scheint also zur Zeit der Anwesenheit der Sonne kräftiger und concentrirter zu sein, als wenn sie nicht da ist. Hier herrscht also Einklang zwischen der Zeit des Effectes und der Zeit, während welcher die Sonne den stärksten Einfluss ausüben kann auf diejenigen magnetischen Zustände der Atmosphäre, welche nun als die den Effect bedingenden vorausgesetzt werden.

2899. Ein Blick auf die Fig. 10 lässt erkennen, dass das Temperaturmaximum nicht mit dem Stande .der Sonne im Meridian zusammenfällt, sondern im Sommer wie im Winter zwei Stunden später eintritt. Allein was den Einfluss der Temperatur auf die magnetische Beschaffenheit der Luft und hierdurch mittelbar auf die Nadel betrifft, so nehme ich nicht an, dass die örtliche Temperatur diesen Einfluss auf die Nadel ausübt, sondern

dass es auf die Temperatur ungeheurer Luftmassen darüber und darunter ankommt, über welche uns die Temperatur an Ort und Stelle, so wichtig sie auch sein mag, wenn wir sie erst gehörig interpretiren können, wenig oder gar keine Auskunft giebt. Doch giebt es einige Punkte, zu denen die Temperatur eine directere Beziehung hat. So ist der Betrag der Temperaturschwankung im Sommer doppelt so gross als im Winter, und der Betrag der Inclination wächst in demselben Verhältniss (2890). Das Temperaturminimum trifft im Winter später ein als im Sommer, und ebenso tritt die äusserste westliche Declination in dieser Jahreszeit später ein.

2900. Die veränderliche *Richtung* der erdmagnetischen Linien lernen wir durch Beobachtungen in zwei Ebenen kennen, einer horizontalen, die uns die Declination giebt, an der wir Ost und West unterscheiden, und einer verticalen, die durch die mittlere Declinationslinie geht, und in der wir die Inclination beobachten. Die Richtung der auf diese Ebene bezogenen Kraftlinie könnte sich so ändern, dass die Inclination entweder zu- oder abnähme, und in der That wächst diese an einigen Orten zu derselben örtlichen Zeit, zu welcher sie an anderen Orten abnimmt. So wächst sie in Greenwich, während sie in St. Helena, welches nahezu unter demselben Meridian liegt, abnimmt. Zu Hobarton verändert sie sich rasch bei der äussersten östlichen und westlichen Abweichung, d. h. um 2 und 21 Uhr. Von Mittag ab nimmt sie bis ungefähr um 3 Uhr ab, behält dann im Sommer ihre grösste Abweichung bis 18 oder 19 Uhr bei und nimmt von dieser Zeit an bis etwa 22 Uhr zu, um bis Mittag im Maximum zu verharren. Man begreift somit, dass die Inclination im Allgemeinen am grössten ist, während das Nordende der Nadel zwischen 21 und 2 Uhr rasch von West nach Ost wandert, und am kleinsten während des anderen, längeren Theiles der Wanderung. Der später zu betrachtende nächtliche Effect durchbricht zwar zum Theil diese Regel, aber im Allgemeinen tritt sie immer hervor.

2901. Alldies lässt sich durch Fig. 13 (2909) roh darstellen. Darin bezeichnet EW den Stand der Sonne während ihres täglichen Laufes zwischen den Tropen um 21^h, 22^h u. s. w., *e* die Bahn, welche das nördliche oder obere Ende der frei aufgehängten, also Declination und Inclination zugleich, d. h. die Gesammtrichtung anzeigende Nadel zu Hobarton beschreibt. Sieht man von oben auf eine solche Nadel herab, so wird ihr oberes Ende die durch den Pfeil angedeutete Bahn beschreiben und dessen Lage zu einer gegebenen Stunde wird hinlänglich durch die Hauptlinien angegeben.

2902. Diese Beziehung der Bewegung der Nadel zu der der Sonne ist schon lange bekannt; sie ist für meine Hypothese von der physischen Ursache dieser Aenderungen von grosser Bedeutung. Der in Rede stehende Vorgang ist so, wie wenn ein Magnetpol von gleicher Natur wie das obere Ende der Nadel zu Hobarton mit der Sonne herankäme und zuerst dieses Ende nach West triebe. Gegen 19 Uhr nimmt die Tendenz, nach Westen zu gehen, ab, aber die Tendenz nach Süden nimmt zu. Um 21 Uhr ist die

Zunahme der Sonnenwirkung, die nicht direct von der Sonne, sondern von einer Region der Atmosphäre darunter ausgeht, nicht gross genug zur Compensirung ihrer ungünstigeren Stellung; die Erdkraft vermindert die Declination der Nadel, die dann ostwärts geht, während die südliche Bewegung der Inclination noch zunimmt; um 24 Uhr, also um Mittag, verhält sich die Sonne gegen östliche und westliche Declination indifferent, aber ihre südliche Wirkung ist stark und sie bringt nunmehr oder ein wenig später die Inclination auf das Maximum. Wenn dann die Sonne westlich von der Nadel fortgeht, so wächst eine Weile ihre Kraft, den hinter ihr befindlichen Pol ostwärts zu treiben, während die Kraft zur Erzeugung von Inclination abnimmt, bis um 2 oder 3 Uhr die Erdkraft, in dem Maasse als die Kraft der Sonne mit ihrer Entfernung abnimmt, wieder das Uebergewicht erlangt, und die Nadel nun zu ihrer kleinsten Inclination und mittleren Declination*) zurückkehrt.

2903. Alldies lässt sich experimentell darstellen, indem man einen Magnetpol nördlich von der Inclinationsnadel so herumführt, dass er den Ort der von der Sonne erwärmten Luft zu Hobarton vorstellt, vorausgesetzt, dass der Pol von gleicher Art sei wie der Nord- oder obere Pol der Nadel. Ich habe bereits angegeben (2877, 2863), dass das magnetische Leitungsvermögen einer Luftmasse in einem magnetischen Felde abnimmt, wenn sie erwärmt wird, und dass sie im Verein mit weniger erwärmter Luft die Linien ablenkt und den Zustand annimmt, welchen ich als diamagnetische Leitungspolarität bezeichnet habe; sie zeigt alsdann eben die Polarität oder vielmehr eben die Beugung der Kraftlinien, welche die Nadel afficiren müssen, wie sie afficirt ist. Sowie die Sonne aufgeht und nordwärts von einem Orte wie Hobarton fortschreitet, so erwärmt sich die Atmosphäre unter ihrem wachsenden Einfluss mehr und mehr und dehnt sich aus. Im Hinblick auf die Luftkugel-Modelle (2864, 2877) ist es so, als ob eine solche warme Masse mit der Sonne durch alle Regionen des Aequators ginge, sich auch nord- und südwärts von demselben ausdehnte und, Hobarton in ihrem Wirkungsbereich einschliessend, die hier beobachteten Erscheinungen hervorbrächte.

2904. Aus dieser Vorstellung ersieht man einen Grund, warum die Nadel, wenn die Sonne durch ihren Meridian gegangen ist, so kurze Zeit braucht, um von West nach Ost zu gehen, und wenn der Einfluss der Sonne langsam abnimmt und sich dann wieder während des übrigen Theiles des täglichen Laufes langsam erneut, so lange Zeit, um von Ost nach West zu gelangen, wobei einstweilen von den paramagnetischen Effecten der Kälte abgesehen wird.

2905. Ich will nun die tägliche Variation in Toronto betrachten, wie sie uns in dem von demselben Autor wie der frühere herrührenden Bande

---

*) Im Texte steht hier offenbar irrthümlich „inclination“. Die Textworte lauten: . . . towards its least *dip* and mean *inclination*. D. Ü.

von magnetischen Beobachtungen[1]) dargeboten sind, und in späteren Beobachtungen bis zum Jahre 1848, die ich der Güte Sabine's verdanke. Das Observatorium liegt unter 43^0 39′ 35″ nördlicher Breite und 79^0 21′ 30″ westlicher Länge. Die absolute Declination beträgt 1^0 21′ 3″ W. und die mittlere oder absolute Inclination 75^0 15′ N.; es liegt also auf der anderen Seite des Aequators als Hobarton und beinahe auf der anderen Seite der Welt. Die Resultate für die Monate Juni und December sind Taf. I, Fig. 12 in ähnlicher Weise graphisch dargestellt wie für Hobarton (2896); die Stunden sind nach Torontoer Zeit bezeichnet.

2906. Das Nordende der Nadel, auf das man sich gewöhnlich bei der Declination bezieht, nimmt zu Toronto während der unmittelbaren Sonnenwirkung folgenden Lauf. Von 16^h ab bewegt es sich langsam nach Ost und erreicht um 20^h die äusserste Grenze, kehrt dann um und erreicht nach sechs Stunden die äusserste Westlage, worauf es sich wieder ostwärts von der Sonne bewegt. Uebertragen wir dies aber auf die Bewegung des äquatorialen Endes der Nadel — denn dies ist das *obere* Ende, wenn die Nadel frei ist, und interessirt uns am meisten beim Vergleich mit Hobarton —, so sieht man, dass dieses Ende um 19^h oder 20^h am westlichsten liegt, aus dieser Lage und um diese Stunde rasch ostwärts geht, innerhalb sechs Stunden, also um 2^h die äusserste Ostlage erreicht und dann dem Lauf der Sonne folgend zurückkehrt.

2907. Diesen Resultaten gegenüber könnte ich wiederholen, was ich zur Erläuterung der Hobartoner Erscheinungen sagte, aber der Kürze halber will ich bloss auf sie verweisen. Wie dort ist der Betrag der Declinationsänderung im Sommer doppelt so gross wie im Winter. Der Temperaturunterschied ist dreimal grösser. Der grösste Werth der westlichen und östlichen Declination findet im Sommer wie im Winter um 20 und 2 Uhr statt; um diese Zeit bleibt also die Magnetnadel in beiden Jahreszeiten stehen; allein die Zeiten des Kältemaximums und Kälteminimums sind, wie früher gezeigt wurde, in beiden Jahreszeiten verschieden, nämlich die ersteren im Sommer um 4 Uhr und im Winter um 2 Uhr, die letzteren im Sommer um 16 Uhr und im Winter um 20 Uhr. Diese Verschiedenheit ist jedoch in sich übereinstimmend; denn man sieht sofort, dass im Winter das Wärmemaximum in der einen Richtung gegen die Zeit der kräftigsten Wirkung vorrückt und das Minimum in der anderen Richtung. Der Durchgang der Sonne durch den Meridian und die Periode der raschen Bewegung der Nadel von West nach Ost fallen also noch zusammen.

2908. Das andere Element der Richtung ist die Inclination. Ihre Aenderung geht sehr langsam, und zwar so vor sich, dass das hauptsächliche Maximum der Inclination um 22 Uhr und das Minimum um 4 Uhr eintritt.

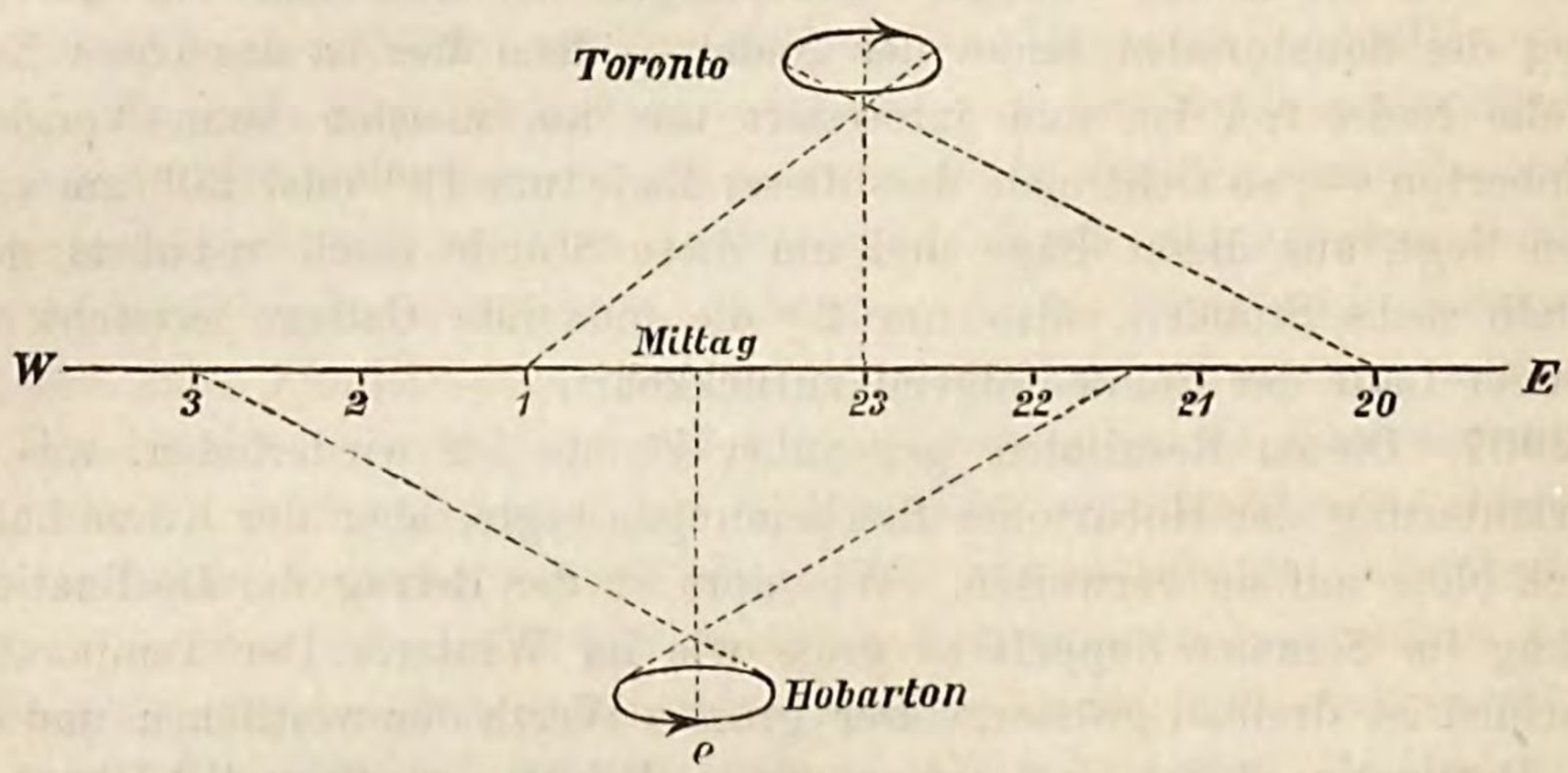
2909. Es können demnach auch alle diese Vorgänge wie die zu

---

[1]) Magnetical and Meteorological Observations, Toronto, 1840, 1841, 1842. Sabine.

Hobarton durch eine Ellipse dargestellt werden (Fig. 13), und ich darf mich auf das früher Gesagte beziehen, wenn ich Hobarton mit Toronto und Nord mit Süd vertausche (2901). So wie die Sonne in ihrem Laufe aus Osten zwischen die beiden Orte kommt, treibt sie durch den Einfluss der unter ihr nun veränderten Atmosphäre die oberen Enden der Nadeln vor sich her und auswärts aus ihrer Bahnlinie, wie wenn sie gegen den Hobarton-Magnet ein Nordpol und gegen den Toronto-Magnet ein Südpol wäre. Um 22^h gestattet die Erdkraft und der durch die Stellung der Sonne bedingte Einfluss der Luft die Rückkehr nach Ost, obwohl die Inclination noch eine Zeit lang wächst (2902); beide Nadeln schwingen rasch von West nach Ost herum, so wie die Sonne den Meridian durchschreitet, und wenn sie ihre äusserste östliche Lage erreicht haben, so folgen sie ihr unter dem Einfluss der Erdkraft, welcher die sich entfernende

Fig. 13.



Sonne immer weniger entgegenwirkt. So auffallend ist die Analogie zwischen den Vorgängen in Hobarton und Toronto, dass Sabine sie bereits besonders hervorgehoben und dargethan hat [1]), indem er zeigte, dass die Curven, welche für beide Orte die Richtung der Bewegung darstellen, wenn man sie auf einander legt, fast genau zusammenfallen und sich nur dadurch unterscheiden, dass die Veränderungen zu Hobarton denen zu Toronto um eine Stunde örtlicher Zeit oder etwas mehr vorausgehen.

2910. Diesen täglichen Effect auf zwei Nadeln wie die zu Hobarton und Toronto können wir nicht experimentell durch *einen* Magnetpol darstellen, aber wohl können wir es für jede einzeln mit verschiedenen Polen. Wir ersehen jedoch sogleich aus der Hypothese den Grund, warum die Sonne in dieser Weise wirkt (2877), und wie es kommt, dass die Region der unter ihrem Einfluss stehenden, sie in ihrem Tageslaufe um die Erde begleitenden Atmosphäre die eine Wirkung in nördlichen und die

[1]) Hobarton Magnetical Observations, 1850, p. XXXV.

andere in südlichen Breiten ausübt (2903). Auch die Gründe für die kurze Zeit der Tageswanderung und die lange Periode der nächtlichen Rückkehr (2904) sind einleuchtend. Das Vorkommen von Störungen oder secundären Kraftwellen zur Nachtzeit und die Bedingung der Hauptabweichung und der untergeordneten Schwingungen im Sommer und Winter werden später betrachtet werden.

2911. *Greenwich.* — Die folgenden Resultate sind dem Journal der Beobachtungen zu Greenwich für 1847 entnommen. Die Beobachtungsstation liegt unter 51^0 31′ nördlicher Breite, und da sie um fast 80^0 Länge von Toronto entfernt ist, so ist sie Toronto und Hobarton hinreichend entgegengesetzt. Die mittlere Declination beträgt 22^0 51′ 18″ W. und die mittlere Inclination 69^0 N. Da wir behufs einer bequemen Vergleichung mit der beobachteten Tageswirkung der Sonne das obere Ende der Inclinationsnadel in's Auge zu fassen haben (2906), so will ich diesen Theil seines Laufes und Ortes, der uns nun interessirt, nach Greenwicher Zeit beschreiben. Nachdem es sich von 19^h und 20^h westwärts bewegt hat, kehrt es nach Ost um und hat in sechs Stunden, also um 1^h oder 2^h die grosse Sonnenschwingung vollendet, worauf es, der Sonne folgend, nach West zurückkehrt. Die Verticalkraft ist zwischen 3^h und 4^h am grössten und zwischen 11^h und 13^h am kleinsten. Das Südende der Nadel ist also zu ersterer Zeit mehr, zu letzterer weniger aufgerichtet; und da dies während des langen Abschnittes der täglichen Rückkehr von Ost nach West, einschliesslich der Nachtstunden, der Fall ist, so sehen wir, dass das obere Ende der Nadel seinen täglichen Lauf in einer unregelmässigen geschlossenen Curve vollführt, welche sich in der Hauptsache durch die Ellipse für Toronto, Fig. 13 (2909), darstellen lässt; es geht in den Nachtstunden langsam von Ost nach West, nähert sich zugleich dem Aequator und kehrt dann mit weit grösserer Schnelligkeit von West nach Ost zurück, wobei es sich in grösserem Abstande vom Aequator und näher dem Pole hält.

2912. *Washington, U. S.* — Breite 38^0 54′ N.; Länge 77^0,2′ W.; mittlere Declination 1^0 25′ W.; mittlere Inclination 71^0 20′ N. Das südliche oder obere Ende der Nadel ist des Morgens um 20^h bis 22^h in der äussersten Westlage und um 2^h in der äussersten Ostlage; dann kehrt es langsam nach West zurück, verhält sich des Nachts wie an den vorigen Orten und nimmt um 20^h bis 22^h wieder die äusserste Westlage ein. Dies ist in Bezug auf den Stand der Sonne genau dieselbe Declinations-Bewegung wie an den vorigen Orten. Die Aenderung der Inclination kenne ich nicht, aber aus der Theorie würde man schliessen, dass sie zwischen 22^h und 2^h am grössten und Abends und Nachts am kleinsten ist. Der Gesammtbetrag der Declinationsänderung ist, wie in den früheren Fällen, im Sommer am grössten, 9′,87 im Juli und nur 4′ im December. Auch der grösste Temperaturunterschied fällt in den Juli und beträgt nahezu 20^0 F., im December und Januar dagegen nur 10^0 F. Die kürzeste Periode zwischen

den extremen Temperaturen, die also den raschesten Temperaturwechsel einschliesst, geht von 16^h oder 18^h bis 2^h und umfasst demnach auch die Mittagszeit. Alle diese Umstände vereinigen sich, um die grösste magnetische Wirkung hervorzubringen, und diese erfolgt im Sinne unserer Hypothese.

2913. *Athabaska-See.* — Breite 58^0 41′ N.; Länge 111^0 18′ westlich von Greenwich; mittlere Declination 28^0 E. Die Beobachtungen erstrecken sich nur auf fünf Monate, aber da sie bei der hohen Breite des Ortes für künftige Betrachtungen wichtig sein können, will ich die Resultate hier mittheilen. Das obere Ende der Nadel nimmt um 17^h oder 18^h die äusserste westliche Lage und um 1^h oder 2^h die äusserste östliche Lage ein, so dass, was die Declination betrifft, der Einfluss der Sonne und der Atmosphäre derselbe ist wie in den vorigen Fällen. Der Betrag der Declinationsänderung ist sehr gross; im October 21′,32, im November 10′,8, im December 9′,78, im Januar 16′,29 und im Februar 14′,87.

2914. *Fort Simpson.* — Breite 61^0 52′ N.; Länge 121^0 30′ westlich von Greenwich; mittlere Declination 38^0 E. Diese Beobachtungen umfassen nur zwei Monate, April und Mai 1844. Das obere oder südliche Ende der Nadel nimmt um 19^h die äusserste westliche und um 2^h die äusserste östliche Lage ein. Das Resultat ist also in vollkommenem Einklang mit den vorstehenden Beobachtungen und Schlüssen. Der Betrag der Aenderung in der Horizontalebene ist sehr gross; 36′,26 im April und 32′ im Mai.

2915. *St. Petersburg.* — Breite 59^0 57′ N.; Länge 30^0 15′ östlich von Greenwich; mittlere Declination 6^0 10′ W.; Inclination 70^0 30′ N. Die Beobachtungen sind das Mittel aus sechs Jahren und zeigen, dass das obere Ende der Nadel, in Bezug auf Mittag, von März bis August die äusserste westliche Lage um 19^h und 20^h und in den übrigen Monaten um dieselben Stunden eine westliche Lage hat. Die äusserste östliche Lage fällt für *alle* diese Monate auf $1^1/_2$ Uhr, so dass die Sonnenwirkung beim Durchgang durch die Mittagsperiode dieselbe ist wie in den früheren Fällen. Der grösste Betrag der Aenderung wird mit 11′,52 im Juni erreicht und geht im Winter auf 1′,77 herab. Der Theorie nach lässt sich erwarten, dass die Inclination während der Tagesstunden wachse und bei Nacht abnehme.

2916. Demnach vereinigen sich diese Beispiele, welche den Gang der täglichen Aenderung und der Sonnenwirkung in der Hauptsache umfassen, und die zu einer ersten Erprobung der Hypothese ausgewählt wurden, um diese zu begründen, und so weit sie reichen, begünstigen sie meine Ansicht über die Ursache der Erscheinungen; ich habe bisher auch noch keinen Fall gefunden, der auch nur scheinbar einen Widerspruch gegen die Sonnenwirkung enthielte. Sie gewähren uns ein treffliches Hilfsmittel, um uns eine klare Vorstellung von der Art der angenommenen Wirkung der Sonne und der Luft nicht bloss in ähnlichen Fällen zu bilden, sondern auch hinsichtlich anderer Consequenzen, nämlich in allen, die unter den Begriff des

atmosphärischen Magnetismus fallen. Ich will daher nunmehr die Principien, welche sie, der Hypothese zufolge, beherrschen, specieller angeben, in der Hoffnung, dass ich so glücklich sein werde, nach und nach Beiträge zur Erkenntniss der *wahren physikalischen Ursache* der in Rede stehenden magnetischen Variationen zu liefern.

2917. Der leere, von Materie freie Raum gestattet der magnetischen Kraft den Durchgang (2787, 2851). Paramagnetische und diamagnetische Körper verstärken oder schwächen die Durchlässigkeit (2789). Diesen ihren Einfluss habe ich vorläufig als magnetisches Leitungsvermögen bezeichnet und ich glaube zunächst ausreichende experimentelle Beweise für die Existenz dieses Vermögens und dessen störende Wirkungen auf die magnetischen Kraftlinien gegeben zu haben (2843). Die Atmosphäre ist in Folge des in ihr enthaltenen Sauerstoffs (2861, 2863) ein paramagnetisches Mittel, und ihr Leitungsvermögen wird, wie ebenfalls experimentell vollkommen deutlich nachgewiesen wurde, durch Temperaturerhöhung (2865) und durch Verdünnung erheblich geschwächt (2782, 2783). Die Sonne bewirkt sowohl Erwärmung als Verdünnung der Atmosphäre, und bei ihrem täglichen Laufe muss, allgemein gesprochen, der Ort der stärksten Wärme und Verdünnung unter ihr liegen. Die Unregelmässigkeiten in der Beschaffenheit der Erdoberfläche und andere Ursachen haben örtliche Abweichungen davon zur Folge, die aber wahrscheinlich in den oberen Regionen der Atmosphäre theilweise, wenn nicht gänzlich verschwinden.

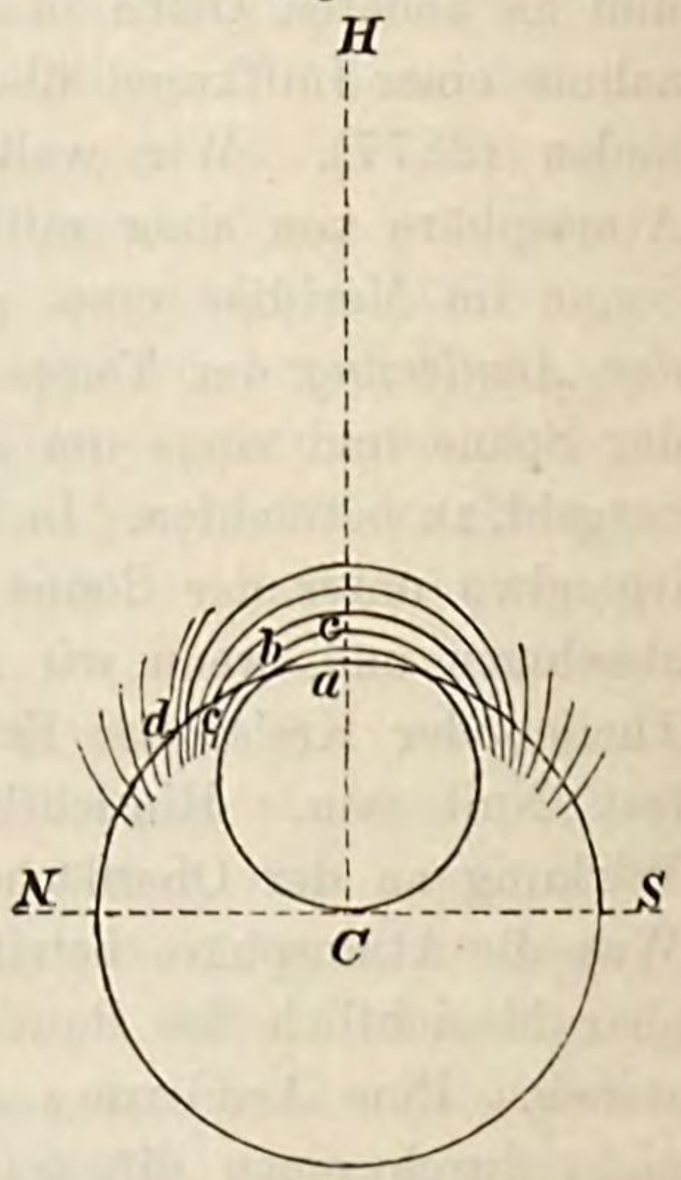
2918. Nehmen wir an, dass *die Luft unter der Sonne* die stärkste magnetische Aenderung erleide, und beschränken wir uns auf eine Stelle, über welcher die Sonne senkrecht steht, um den Zustand der Atmosphäre dort und an anderen Orten in Bezug auf sie zu betrachten, so wird die Annahme einer Luftkugel über der Stelle natürlich keine geeignete Anwendung finden (2877). Wir wollen uns zunächst die Sonne weit weg und die Atmosphäre von einer mittleren Temperatur denken; lassen wir dann die Sonne im Meridian eines gegebenen Ortes stehen, so haben wir *den Grad der Aenderung* der Temperatur und Ausdehnung der Luft unter dem Ort der Sonne und rings um ihn und die Art, wie die Aenderung eintritt und vergeht, zu betrachten. In Beziehung zur Erdoberfläche wird diese Aenderung irgendwo unter der Sonne am grössten sein, ringsum in jeder Richtung abnehmen und, wenn wir die directe Wirkung in's Auge fassen, an dem Theile oder Kreise der Erde, auf den die Sonnenstrahlen tangential fallen, fast Null sein. Hinsichtlich der Höhe ist es noch die Frage, ob die Wirkung an der Oberfläche am grössten sei und nach oben hin abnehme. Was die Atmosphäre betrifft, so muss die Wirkung natürlich mit ihr enden, aber hinsichtlich des Raumes selbst (2851) kann noch ein Bedenken entstehen. Eine Aenderung auf der entgegengesetzten Halbkugel wird zwar nicht durch einen directen Einfluss der Sonne hervorgerufen, aber wohl durch einen indirecten, indem die Temperatur der Luft von der Höhe,

auf welche sie die Sonne während ihres Standes über dem Horizont gebracht hat, sinkt. Diese Aenderung muss träger, unregelmässiger und durch örtliche und andere Umstände gestörter erfolgen als die durch den directen Einfluss der Sonne hervorgebrachte, und sie ist es, welche, der Hypothese zufolge, das zweite Maximum oder Minimum oder andere Schwankungen veranlasst, welche die Nadel in den Nachtstunden zeigt.

2919. Die von einem Magnet ausgehenden Kraftlinien sind gleichsam an ihren Wurzeln befestigt, in einer Weise, die von denen, welche über diesen Gegenstand gearbeitet haben, experimentell wohl veranschaulicht worden ist. In derselben Weise werden die Linien, welche je nach der Grösse der Inclination mehr oder weniger plötzlich von der Erde ausgehen, unten von einer hier angreifenden Kraft festgehalten, und weil die Wirkung der Erde in Bezug auf die der Atmosphäre unverändert bleibt, so werden sie, während letztere sich verändert, mehr oder weniger an einer Veränderung gehindert. Diese Gebundenheit in der Erde ist eine Hauptursache gewisser Eigenthümlichkeiten, die wir an den atmosphärischen Erscheinungen beobachten, und sie bewirkt jene Drehung der Kraftlinie um die Mittellage, die wir bereits während der Sonnenschwingung betrachtet haben und wiederum bei dem Einfluss kalter Luft antreffen werden. Diese Fixirung der Kraftlinien an ihren unteren Theilen findet überall statt, wo irgend Inclination vorhanden ist, und giebt für jeden Ort den Convergenzpunkt, um den die Bewegung des oberen Endes der Nadel erfolgt (2909, 2932).

2920. Die Atmosphäre der Erde erleidet also von der Sonne die stärkste Aenderung an dem unter dieser befindlichen Theile. Sie hat das Vermögen erlangt, die magnetischen Kraftlinien in anderer Weise zu afficiren, als sie es bei Abwesenheit der Sonne vermag. Sie ist eine grosse magnetische Linse geworden, die im Stande ist, die Linien zu brechen, und die Art, wie sie es thut, scheint folgende zu sein. Alle Linien, welche durch diese erwärmte und verdünntere Luft, die von anderer, weniger warmer Luft umgeben ist, gehen, werden, da erstere ein schlechterer magnetischer Leiter ist als letztere (2861, 2862), sich nach aussen biegen (2807), und die Gesammtmasse der erwärmten Luft wird den Zustand diamagnetischer Polarität annehmen. Nehmen wir also der Einfachheit wegen an, dass die magnetischen und astronomischen Pole der Erde zusammenfallen, und stellt Fig. 14 einen durch sie und die Sonne gehenden Durchschnitt dar, so werden N und S die magnetischen Pole sein und die verschiedenen den Umfang des Kreises

Fig. 14.



schneidenden Curven werden mit hinlänglicher Treue den Lauf der magnetischen Linie an der Erdoberfläche wiedergeben, wenn H die Sonne ist, *a* der gerade unter ihr liegende Ort, der auch mit dem magnetischen Aequator zusammenfällt. Diese Figur veranschaulicht auch den hypothetischen Effect auf die Inclination der Nadel.

2921. Betrachten wir zunächst den Punkt *a* und nehmen an, dass die Luft die stärkste Aenderung an der Oberfläche der Erde erleidet, so werden wir finden, dass hier die Kraftlinien weiter auseinander treten, bis zu einem gewissen Grade jedoch einander parallel und concentrisch bleibend. Daher wird eine Magnetnadel, die sich frei in jeder Richtung bewegen kann und sich demnach *in Richtung* der Kraftlinie einstellen wird, ihre Lage an dieser Stelle nicht ändern. Sie wird vielleicht zeigen, dass durch diese Stelle weniger magnetische Kraft hindurchgeht, allein aus dem früher (2868) angeführten Grunde schliesse ich, dass sie eine grössere Intensität anzeigen würde, da der Zuwachs der auf sie concentrirten Kraft, der eine Folge der Abnahme des Leitungsvermögens der Luft an diesem Orte ist, sie als eine stärker wirkende Nadel erscheinen lässt.

2922. Gehen wir zum Punkte *b* über, so haben daselbst die Kraftlinien schon eine Neigung. Sie erleiden dieselbe physikalische Wirkung wie die früheren, d. h. die in der Atmosphäre liegenden Theile derselben werden weiter auseinandertreten, allein hier so wenig wie in dem früheren Falle werden sie überall dieselbe Krümmung haben; denn an und in der Erde, wo sie ihren Ursprung haben, werden sie durch die unveränderliche Kraft der Erde mehr oder weniger selbst an Veränderung gehindert (2919), während sie in den weiter vorgerückten Theilen, wie bei *c*, wo sie in Stellen der Atmosphäre eintreten, die den Linien der intensivsten Sonnenwirkung HC näher liegen, wahrscheinlich auch in die Region der stärksten Wirkung selbst und in den Weltraum und so unter Bedingungen gelangen, welche eine stärkere Verschiebung der Linien bewirken, die somit in Folge der Spannung der in der Luft liegenden veränderten Theile sich mehr zu trennen suchen, als es *in* der Erde geschehen kann (2848). Sonach werden sich die magnetischen Kraftlinien bei *b* nicht parallel mit sich selbst bewegen, sondern da sie schon im normalen Zustande eine gewisse Neigung gegen den Horizont haben, stärker geneigt werden, also diese stärkere Neigung unter dem Einfluss der Sonne bekommen. Diese Thatsache giebt sich an der Nadel zu erkennen, wenn die Bewegung des oberen Endes derselben die Lage der Inclinationslinie (2908) zu Hobarton, Toronto oder sonstwo angiebt; denn es ist klar, dass das, was an der einen Seite des Sonnenortes und des magnetischen Aequators geschieht, wenn beide unserer Annahme gemäss (2920) zusammenfallen, auch an der anderen erfolgt.

2923. Die Sache lässt sich noch einfacher darstellen und leichter veranschaulichen, wenn man sagt, die Wirkung der Sonne bestehe darin, die magnetischen Curven über den äquatorialen und benachbarten Theilen aus

ihrer normalen Lage zu heben und dabei die nördliche und südliche Inclination gleichzeitig zu afficiren und zu vergrössern.

2924. An dem Orte *d* muss die Inclination gleiche Einwirkungen erfahren und der Theorie zufolge in demselben Sinne selbst bei N und S. Am Punkte *a* findet, wie ich annehme, gar keine Aenderung der Inclination statt, aber nördlich und südlich davon treten immer wachsende Aenderungen ein. Es ist nicht wahrscheinlich, dass das Maximum der Aenderung bei N oder S stattfindet, sondern die Breite, wo es eintritt, muss gemeinsam von den vielen Umständen abhängen, die bei einer Kugel sich geltend machen, um welche eine magnetische Linse, wie ich sie zu beschreiben versucht habe, fortdauernd rotirt.

2925. Statt der Annahme, dass die Sonne in H sei, wollen wir nun annehmen, wir sähen senkrecht auf die Figur und nach Osten, und die Sonne käme von Ost, ginge über unsere Häupter hinweg und versetzte unsere Atmosphäre in den Zustand, welcher die Ursache der Aenderung ist. Alsdann würden sich alle magnetischen Curven heben; die Inclination würde bei *bd* und überall, wo vorher eine vorhanden war, zu beiden Seiten von *a* im entgegengesetzten Sinne zunehmen. Dies würde so fortgehen, bis die Sonne im Zenith wäre, und wenn sie dann weitergeht und hinter uns niedersinkt, so würden die Linien sich wieder zurückziehen und die Inclination würde auf ihren anfänglichen Werth herabgehen. Die Inclination würde ihr Maximum erreichen, wenn die Sonne dem Zenith nahe steht, und ihr Minimum, wenn sie ganz fort ist.

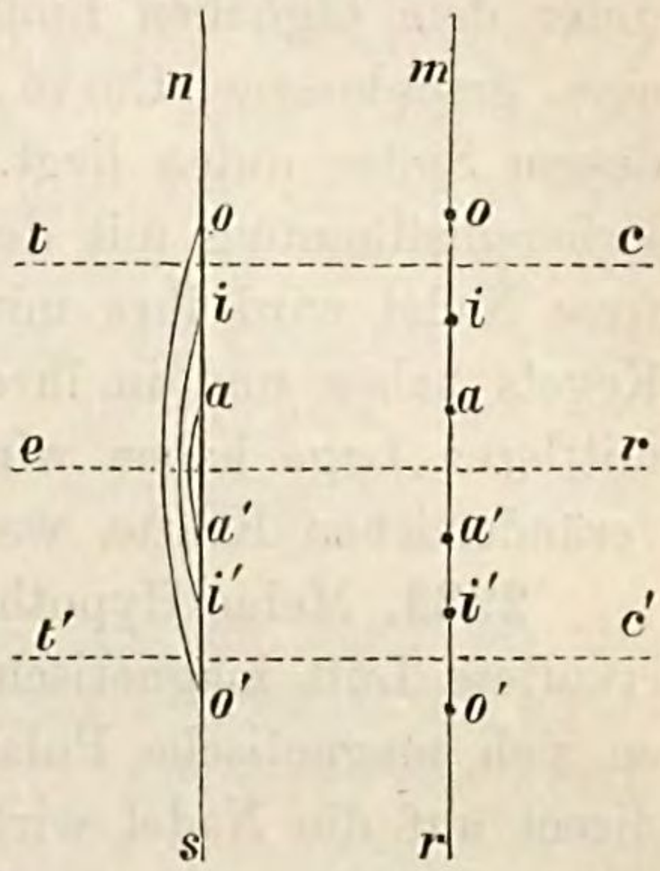
2926. Wenn aber die resultirende Kraft sich über der Atmosphäre befände (2937), was bei weitem das Wahrscheinlichste ist, da es die ganze Atmosphäre ist, welche die durch die Wärme bedingte diamagnetische Wirkung ausübt, so würden die Resultate modificirt sein; denn wenn sie über *a* wäre, so würden die Kraftlinien *herabgedrückt* werden und die Inclination daselbst abnehmen, bei *b* würde sie zur Zeit nicht afficirt werden und in höheren Breiten würde sie zunehmen, je nachdem die Kraftlinie von der Resultante in der Atmosphäre, wo diese auch wäre, ausserhalb oder innerhalb des Winkels fiele, welchen die Inclination an einem gegebenen Ort mit dem Horizont macht. St. Helena, das Cap der guten Hoffnung und Hobarton liefern Beispiele zu diesen drei Fällen.

2927. Zu gleicher Zeit würde der Betrag der Gesammtkraft eine Aenderung erleiden; die durch einen gegebenen Raum gehende würde am kleinsten sein, wenn die Sonne im Zenith wäre, und am grössten, wenn sie fort wäre (2863). Die gesammte Aenderung der Kraft würde bei *a* am grössten sein und nördlich und südlich davon kleiner werden. Die täglichen Schwankungen der Inclination sind uns bisher so unvollkommen bekannt, dass wir nicht sagen können, wie weit die wirklichen Aenderungen mit den erwarteten übereinstimmen, aber so weit die Beobachtungen reichen, stimmen sie mit der Theorie überein.

2928. Wenn die Sonne nicht über dem Aequator, sondern in einem der Wendekreise steht, und zwar beispielsweise senkrecht über *b*, so werden die Wirkungen modificirt sein; und wenn wir die Lage der Resultirenden wie oben annehmen, so lässt sich erwarten, dass die früher nicht afficirten Kraftlinien herabsinken und die Inclination verkleinern werden, während andere Linien in höheren Breiten, deren Neigung vorher gewachsen war, jetzt nur wenig afficirt sein werden, und wieder andere Linien in noch höheren Breiten wie vorher eine stärkere Inclination annehmen werden. Auf der anderen Seite des Aequators werden die Linien die Inclination zu vergrössern suchen.

2929. Gehen wir nun zu dem Theil der erwarteten Lagenänderung der freien Nadel über, welcher Aenderung der *Declination* darstellt; *e r* (Fig. 15) sei die Bahn der Sonne am Aequator und *t c t′ c′* dieselbe unter den Wendekreisen, *m r* ein magnetischer Meridian, und *a a′*, *i i′*, *o o′* Orte von gleicher nördlicher und südlicher Inclination zu beiden Seiten des Aequators. Die in Fig. 14 von vorn gesehenen Curven liegen nun in der Ebene des magnetischen Meridians, können aber als zu beiden Seiten des Aequators aufsteigend und über ihm zusammenfliessend angesehen werden. Wäre die Luft an allen Seiten in ihrem mittleren Zustande, und die Sonne ganz fort, so würden diese Curven in der Verticalebene *m r* liegen; oder wenn die Sonne nahe um Mittag so stände, dass die Resultirende der erwärmten und veränderten Atmosphäre in den Meridian *m r* fiele, so würden zwar Inclinationswirkungen eintreten (2922), aber die Curven würden doch in derselben Verticalebene bleiben. Fiele aber die Resultirende östlich oder westlich von *m r*, so würden Declinationsänderungen entstehen. Denn nehmen wir an, die Sonne komme von Osten oder von *r* her; da sie der Luft einen diamagnetischen Zustand ertheilt, so würden die Kraftlinien sich auszuweiten streben (2877) und deshalb nach West rücken, wie es in dem Meridian *n s* dargestellt ist; die dabei bewirkte Ablenkung würde am grössten an der Oberfläche der Erde sein, weil hier die Curven in die Erde eindringend in ihrer normalen Lage festgehalten werden (2919). Sowie die erwärmte Luft anlangte, würde die westliche Ablenkung bis zu einem gewissen Betrage zunehmen und dann bis Null abnehmen, wenn die Resultante im Meridian wäre; sowie aber letztere darüber fortginge, würde die Ablenkung auf der Ostseite von *n s* wachsen und nach Erreichung eines Maximums abnehmen und verschwinden, sobald die warme Luft sich zurückzöge.

Fig. 15.



2930. Läge die Bahn der Sonne in dem nördlichen Wendekreise *t c*, und die Resultirende in der Atmosphäre demnach nördlich von den Stationen *a* oder *i*, so würde dies zwar einen Unterschied in dem Betrage der Decli-

nationsänderung ergeben, aber nicht in ihrer *Richtung*, denn die Curven aa' und ii' würden beim Heranrücken der Sonne sich immer noch nach West neigen und in den Meridian fallen, wenn die Resultirende dort läge. Bei i würde die Wirkung grösser sein als bei i', aber das entgegengesetzte Verhalten der Inclination in Bezug auf den Ort der Sonne würde den Sinn der Declinationsänderung nicht umkehren.

2931. Eine kalte Luftregion, die wie das Hereinbrechen der Nacht aut die erdmagnetischen Kraftlinien wirkt, würde vermöge ihres paramagnetischen Charakters (2865) entsprechende Wirkungen auf die Inclination und Declination, aber in entgegengesetztem Sinne ausüben.

2932. Der Hypothese zufolge würden also die Kraftlinien, welche von der Erdoberfläche überall, wo Inclination vorhanden ist, ausgehen, unter dem täglichen Einfluss der Sonne mit ihren aufsteigenden Theilen eine geschlossene Curve oder einen unregelmässigen Kegel beschreiben, dessen Spitze unten liegt. Dies ist ja eine wohlbekannte Thatsache, deren Uebereinstimmung mit der Hypothese für diese von Bedeutung ist. Die freie Nadel wird ihre mittlere Lage in der Axe dieser Curve oder dieses Kegels haben und in ihrer Rückkehr in Declination oder Inclination zu der mittleren Lage haben wir eine wichtige Angabe der Grösse und Lage der veränderlichen Kräfte, welche zu solchen Zeiten auf sie einwirken.

2933. Meine Hypothese nimmt keineswegs an, dass die erwärmte oder erkaltete Luft magnetisch werde und wie ein Stück Eisen, das entweder an sich magnetische Polarität besitzt oder durch Induction erhalten hat, direct auf die Nadel wirke. Ich nehme für den Sauerstoff der Luft keine andere Polarität an als die Leitungspolarität (2822, 2835), auf Grund einer leisen Aenderung in der Richtung der Kraftlinien. Diese Ablenkung der Linien ist eine Folge der Aenderung des Leitungsvermögens, gerade so wie ein schlechter Wärmeleiter, der in ein besser leitendes Mittel eingeführt wird, die bisherige Gleichförmigkeit des Wärmeüberganges stört und der fortgeleiteten Wärme eine neue Richtung ertheilt; oder wie bei der statischen Elektricität ein Körper von grösserer oder kleinerer specifischer Inductionscapacität, der in ein gleichförmiges Mittel eingeführt wird, die Gleichförmigkeit der Kraftlinien, welche vorher dasselbe durchschnitten, stört.

2934. Die einzige Wirkung der Atmosphäre besteht darin, die Kraftlinien zu beugen. Die Nadel, die von diesen Linien gehalten wird und, wenn sie frei ist, ihnen parallel ist, ändert ihre Lage, so wie diese Linien sich ändern. Es ist nicht einmal nöthig, dass die Linien, deren Richtung unmittelbar durch die veränderte Luft beeinflusst wird, in der nächsten Umgebung der Nadel liegen, sondern sie können sehr fern sein. Die Gesammtheit der magnetischen Linien um die Erde wird durch ihre gegenseitige Spannung zu einem zusammenhängenden empfindlichen System zusammengehalten, das nirgends schlaff ist, in dem sich vielmehr eine Aenderung an irgend einem Punkte überall fühlbar macht. Hierin können und werden

beständig neue Kraftvertheilungen erfolgen, aber sie werden nicht unbemerkt bleiben. Wenn also in grösserer oder geringerer Entfernung von der Nadel eine Aenderung der Richtung erfolgt, so wird die Nadel an ihrem Orte sie verspüren und anzeigen, und zwar mehr oder weniger stark, je nach der grösseren oder geringeren Nähe des Ortes und der Art der Aenderung. Gleichzeitig hat jedoch die Anordnung des *ganzen* Systems eine Aenderung erlitten, und daher werden auch alle übrigen Nadeln sich afficirt zeigen und der Aenderung der Kraftlinien folgen, welche jede einzelne von ihnen beherrschen.

2935. Die Nadel ist eine Waage, woran alle magnetische Kraft rings um einen gegebenen Ort sich anhängt, selbst bis zu den Antipoden, und sie zeigt für jeden Ort jede Aenderung der Grösse und Vertheilung, mag dieselbe in ihrer Nähe oder weit entfernt von ihr eintreten. Ihre mittlere Lage ist die normale, und in Bezug auf atmosphärische Aenderungen ist es die Fixirung der Kraftlinien in der Erde (2919), welche den Linien (abgesehen von säcularen Aenderungen) eine normale Lage zu geben und sie somit wie die Nadel aus ihrem gestörten Zustand in den normalen zurückzuführen sucht. Daher ist es bei Betrachtung der Ursachen, welche die Declination oder Inclination stören, wichtig, die mittlere Lage der Nadel (2932) und nicht bloss die Richtung ihrer Bewegung sich gegenwärtig zu halten.

2936. Die wohlbekannte Wirkung der Sonne auf die Nadel ist also nach meiner Hypothese eine sehr indirecte. Die Sonne afficirt an einem gegebenen Orte die Atmosphäre, diese ihrerseits die Richtung der Kraftlinien; diese Kraftlinien afficiren andere, die in irgend einem Abstande von ihnen liegen, und diese wiederum die betreffenden Nadeln, welche sich in ihrem Wirkungsbereich befinden.

2937. Der Bequemlichkeit wegen habe ich bei Betrachtung einer speciellen Wirkung der Atmosphäre von der in der Atmosphäre liegenden, von dem Stande der Sonne abhängigen Resultirenden gesprochen, und ich will es auch noch eine Weile thun, ohne darunter eine directe Wirkung dieser Resultirenden oder des sie enthaltenden Theiles der Luft auf die Nadel (2933) zu verstehen, um zu erwägen, in welcher Höhe der Atmosphäre sie wahrscheinlich liegt. Dass sie nicht an der Oberfläche der Erde liegen könne, ergiebt sich aus Der Depression der Linien und der Abnahme der Inclination zu St. Helena und Singapore während der Mitte des Tages, und dass sie auch nicht unter der Sonne liegt, zeigt der Umstand, dass die grösste Wirkung der Sonne einigermassen vorauseilt, wie zu Hobarton und Toronto und an anderen Orten. Dabei sind die Zeitbeträge verschieden; die grösste Wirkung erfolgt weder zu der Zeit, da die Sonne im Meridian steht, noch zu der Zeit, da das Temperaturmaximum beobachtet wird (das später eintritt), sondern vor diesen Zeiten. Die durch die Sonne bewirkten Temperaturänderungen der Luft treten unten und oben nicht gleichzeitig ein. Auf die oberen Regionen

der Atmosphäre über einem gegebenen Ort wirkt die Sonne bei ihrem Aufgang und später, ehe noch die Luft darunter erwärmt wird, und daher lässt sich erwarten, dass der Einfluss der ersteren sich früher geltend machen wird als der der letzteren. Die auf der Erdoberfläche beobachtete Temperatur zeigt uns nicht den gleichzeitigen Gang der oberen Aenderungen und liefert wohl nur eine sehr unvollkommene Andeutung derselben. Unten liegt das Temperaturmaximum oft zwei, drei oder vier Stunden hinter der Sonne, während die durch die directe Wirkung der Sonnenstrahlen erfolgende Erwärmung der Atmosphäre weit schneller von Statten gehen muss. Es ist sehr wahrscheinlich, ja fast gewiss, dass in den Sommermonaten die Temperatur der oberen Regionen um 4 oder 5 Uhr a. m. steigt, während sie an der Erdoberfläche durch Ausstrahlung und andere Ursachen sinkt. Das in einigen Gegenden Indiens und auch bei uns wohl bekannte Auftreten von Kälte kurz vor Sonnenaufgang spricht für diese Annahme. Wir müssen uns erinnern, dass es nicht die absolute Temperatur der Luft an einem Orte ist, deren Einfluss sich bei den magnetischen Variationen geltend macht, sondern die *Unterschiede* der Temperatur zwischen jenem Orte und den umgebenden Regionen. Obschon die oberen Regionen kälter sind als die unteren, so können die Veränderungen in ihnen ebenso gross oder grösser sein; sie betreffen ein Temperaturintervall, dessen Einfluss wahrscheinlich grösser als eine höhere Schwankung (2967), und was von Wichtigkeit ist, sie treten rascher und unmittelbarer bei Gegenwart der Sonne ein. Die Wärmemenge, welche die Atmosphäre direct von den Sonnenstrahlen aufnehmen kann, wird durch das verschiedene Verhältniss angezeigt, in dem wir sie von ihr empfangen, je nachdem sie senkrecht oder schräg zu uns gelangen und so eine geringere oder grössere Luftstrecke durchdringen; nach Sonnenuntergang sind die Bedingungen zu rascher Abkühlung durch Ausstrahlung für die oberen Regionen der Atmosphäre weit günstiger als für die unteren. So können die schliesslichen Aenderungen ebenso gross oder grösser sein als unten, während uns die Temperaturbeobachtungen an der Erdoberfläche wenig Aufschluss darüber, über ihre Grössenordnung oder ihre Zeit geben. Neben den Beobachtungen über magnetische Erscheinungen wie die Depression der Kraftlinien zu St. Helena u. s. w. lässt sich also aus physischen Ursachen schliessen, warum der Hauptsitz der Wirkungen in den oberen Regionen der Atmosphäre sein müsse.

2938. Bei dem Mittags-Effect geht das obere Ende der Nadel auf seiner Rückkehr nach Ost gewöhnlich eher durch seine mittlere Lage (2935) als die Sonne westwärts durch den Meridian geht. In Toronto ist es ihr eine halbe Stunde voraus, in St. Helena und Washington eine und eine halbe Stunde, in Greenwich und Petersburg zwei Stunden und in Hobarton und am Cap der guten Hoffnung erfolgt der Durchgang um Mittag. Diese Resultate scheinen anzudeuten, dass der Ort der stärksten Wirkung der Sonne voran liegt, und wahrscheinlich ist es auch so, allein, wie wohl aus

den folgenden Betrachtungen hervorgehen wird, doch nicht in dem Maasse, als man im ersten Augenblick annehmen möchte.

2939. Das Vorangehen der Zeit der stärksten Wirkung mag zum Theil von einem Umstande wie der folgende abhängen. Wenn die Sonne gegen einen Meridian vorrückt und ihn durchschreitet, so wird die Temperatur der Luft zuerst steigen und dann sinken, und diese Vorgänge bringen an verschiedenen Orten die Differenzen hervor, von denen die magnetischen Variationen abhängen. Aber sie hängen auch von der *Plötzlichkeit*, mit welcher, und von der Nähe, in welcher diese Differenzen auftreten, ab. So werden zwei Luftmassen von gleichen Temperaturunterschieden die Kraftlinien stärker afficiren, wenn sie einander und der Nadel näher, als wenn sie weiter entfernt sind. Und ferner würde eine Luftmasse, die an einem Orte eine gewisse niedrige Temperatur besitzt und bei ihrer Fortbewegung in horizontaler Richtung rasch eine gewisse hohe Temperatur annimmt und dann wieder langsam auf die frühere herabsinkt, wenn sie eine Schicht magnetischer Kraftlinien durchschneidet, dieselben vorn und hinten in entgegengesetztem Sinne afficiren, am stärksten jedoch an der sich rasch ändernden Seite.

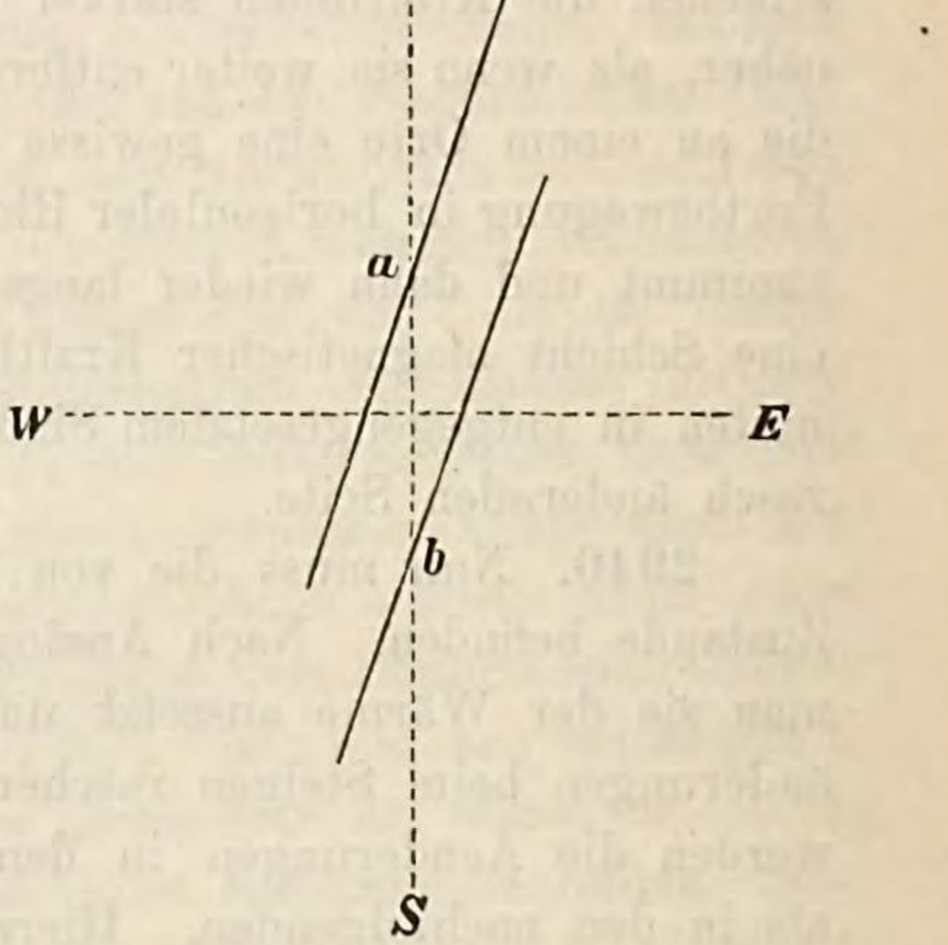
2940. Nun muss die von der Sonne erwärmte Luft sich in diesem Zustande befinden. Nach Analogie mit festen und flüssigen Körpern, wenn man sie der Wärme aussetzt und dann entzieht, werden die Temperaturänderungen beim Steigen rascher erfolgen als beim Fallen, und demnach werden die Aenderungen in den vorangehenden Theilen rascher eintreten als in den nachfolgenden. Hierzu würde die Wirkung der durch die Erde erwärmten Atmosphäre kommen; denn da die Wärmeaufnahme derselben langsamer erfolgt, wie sich aus der Zeit des Temperaturmaximums ergiebt, so wird ihre Wirkung, die sich der Luft darüber allmählich mittheilt, wenn die Sonne schon fort ist, den Erfolg haben, das Sinken der Temperatur zu verzögern und die oben erwähnte Differenz zu vergrössern. Wenden wir diese Betrachtungen auf den vorliegenden Fall an, so wird der stärkste Effect und die grösste Variation westlich, die folgende geringere Wirkung östlich von der Sonne eintreten, und die mittlere Lage der Nadel während der gesammten Aenderung wird der Sonne vorausgehen.

2941. Broun hat die tägliche Variation in verschiedenen Höhen beobachtet, nämlich zu Makerstoun und auf dem fast eine halbe Meile höheren Gipfel der Cheviot Hills, und, wie ich glaube, keinen Unterschied in der Intensität gefunden, aber wohl ein *früheres* Auftreten der Bewegung an der höher gelegenen Station. Es würde sehr interessant sein, oben ein Observatorium zu haben, allein um die erforderlichen Resultate zu erhalten, müsste man Luft, aber keine starre Substanz unter sich haben.

2942. Es giebt noch einen Umstand, welcher einen bedeutenden Einfluss auf die *Zeiten* der Declinationsänderung ausübt. Wenn zwei Orte, der eine nördlich, der andere südlich vom Aequator gleiche Inclination und

entgegengesetzte Declination haben, d. h. wenn an beiden das obere Ende der Nadel nach Ost oder West pointirt, so müssen die Effecte sich entsprechen und ein Paar bilden. Wenn man aber die östliche oder westliche Declination beider wie gewöhnlich nach der Lage des Nordendes des Magnets bezeichnet, dann müssen die erwähnten Aenderungen eintreten, wenn die Sonne zwischen ihnen hindurchgeht, allein in der *Zeit* müsste ein Unterschied sein. Sowie die Sonne erscheint und heranrückt, werden die Nadeln *a* und *b* (Fig. 16) sehr wahrscheinlich gleichzeitig eine Einwirkung erleiden; aber wenn die Sonne näher heranrückt, so wird bei östlicher Declination beider Orte der südliche früher und zugleich stärker afficirt werden, und nach längerer oder kürzerer Zeit wird die entsprechende Wirkung an dem anderen Orte erfolgen. Denn da jede der Nadeln, nachdem sie die erste Hälfte ihrer Aenderungen durchlaufen hat, zur Zeit, da die Sonne sich in ihrem Meridian befindet, zur Nulllage zurückgekehrt sein wird, und der Eintritt in den Meridian der südlichen Nadel früher erfolgt als in der nördlichen, so müssen auch die Aenderungen des südlichen Magnets denen des nördlichen vorauseilen. Wäre die Declination beider westlich, so würde die nördliche Nadel der südlichen voraus sein.

Fig. 16.



2943. Die aufgestellte Hypothese, die im Allgemeinen mit den thatsächlichen Beobachtungen über die Richtung der Nadelbewegungen übereinstimmt und, wenn meine Hoffnungen begründet sind, es auch bei sorgfältigeren Vergleichungen thun wird, muss auch mit der *Grösse* der Kraft, welche die beobachteten Abweichungen in gegebenen Zeiten verlangen, im Einklang stehen. Ich habe mich bemüht, experimentelle Beweise für einen Unterschied in der Wirkung von Sauerstoff und Stickstoff auf Nadeln, die unter dem Einfluss des Erdmagnetismus stehen, zu erlangen, aber bisher ohne Erfolg. Dies ist jedoch nicht überraschend, da eine gesättigte Lösung von Eisenvitriol unter denselben Umständen ebenfalls kein Resultat ergab. Empfindlichere Apparate dürften am Ende ein positives Resultat liefern.

2944. Dass kleine Mengen Sauerstoff keine Wirkung der Art geben, wie sie von der Atmosphäre in ihrer Gesammtheit nachgewiesen ist, ist nicht überraschend, wenn wir bedenken, wie ausserordentlich gross die Luftmasse ist, und wie ungeheure Strecken der Curven sie einschliesst, auf welche sie, der Hypothese zufolge, wirkt, und wie ausserordentlich klein dennoch die Wirkung ist. Das Maximum der Declination beträgt zu Green-

wich 12′, was etwa gleich 4′ 24″ der östlichen und westlichen Aenderung der freien Nadel ist, und dies ist das Ganze, was zu erklären ist. Man kann demnach kaum erwarten, eine derartige Wirkung kleiner Mengen Sauerstoff und Stickstoff, die sich bloss auf Längen von wenigen Zollen der durch sie gehenden magnetischen Curven erstreckt, aufzufinden, wenn man nicht in der Lage ist, einen Apparat von äusserster, ja fast unendlicher Empfindlichkeit anzuwenden; was ich jedoch vom Sauerstoff bei verschiedenen Dichtigkeitsgraden (2780) oder bei verschiedenen Temperaturen (2861) gesehen habe, veranlasst mich zu glauben, dass die Wirkung der Sonne auf den in der Atmosphäre enthaltenen Sauerstoff sich schliesslich als hinlänglich zur Hervorbringung dieser Aenderungen erweisen wird.

2945. Sobald die Luft eine Temperatur- oder Volumenänderung erleidet, macht sich ihr Einfluss in einer Aenderung der Richtung der Kraftlinien geltend, und diese übertragen vermöge ihrer Spannung den Effect auf entferntere Linien (2934), deren Nadeln demgemäss afficirt werden. Der Effect wird grösser oder kleiner sein, je nachdem die Entfernung, auf welche er übertragen worden, kleiner oder grösser ist, und daher kann eine Aenderung in der Nähe eine ferne überwiegen und eine Wolke nahe über einem Orte einen grösseren Einfluss haben als die aufgehende Sonne. Dies sind die unregelmässigen Schwankungen; der Bereich ihres Einflusses lässt sich aus den photographischen Aufzeichnungen zu Greenwich und Toronto wohl erkennen. Die Greenwicher Beobachtungen für 1847 enthalten eine photographische Aufzeichnung der Declinationsänderungen vom 18. bis 19. Februar 1847. Zwischen 6 und 7 Uhr findet in 18 Minuten eine Abweichung von 16′ statt oder nahezu 1′ in der Minute. Im Mittel beträgt die Aenderung für denselben Tag 1′,95 in zwei Stunden oder 1″ in der Minute, so dass also die unregelmässige Schwankung (die in Bezug auf den Einfluss der Sonne für die Zeit als eine örtliche betrachtet werden kann) sechzigmal so gross ist als die Wirkung der grossen Resultirenden; überdies fand die temporäre Schwankung in umgekehrter Richtung statt, nämlich von Ost nach West, während die mittlere Variation von West nach Ost ging.

2946. Eine andere Methode, zu zeigen, wie der Einfluss näher gelegener Theile der Atmosphäre den ihrer Gesammtmasse überwiegen und verdecken kann, besteht darin, die Linie der mittleren Variation für vierundzwanzig Stunden in der eben erwähnten Weise photographisch zu registriren; dann wird man an jedem Theil der Strecke sehen, wie klein der mittlere Effect auf die Nadel ist, verglichen mit den unregelmässigen oder verhältnissmässig örtlichen Effect für denselben Zeitmoment. Der Magnet, der zu diesen Beobachtungen diente, ist ein Stahlstab von 2 Fuss Länge, $1\,^1/_2$ Zoll Breite und $^1/_4$ Zoll Dicke, also nicht geeignet, plötzlichen Impulsen zu folgen; wahrscheinlich würde ein kurzer, beweglicherer Magnet viele Beispiele aufweisen, dass die unregelmässige Schwankung mehrere

hundertmal grösser sei als die mittlere. Doch lassen sich alle diese Unregelmässigkeiten und überwiegenden Einflüsse naher Massen eliminiren, wenn man das Mittel aus mehrjährigen Beobachtungen nimmt; so wird man ein Resultat erhalten, an dem die aufgestellte Hypothese geprüft werden könnte.

2947. Kehren wir eine kurze Weile zu der jährlichen Abweichung (2882) zurück, die zum grossen Theil schon bei Besprechung der täglichen Variation in Betracht gezogen worden ist. Die Vertheilung der magnetischen Erscheinungen auf Monate, wie sie von Sabine für Hobarton, Toronto, St. Helena und andere Orte ausgeführt worden ist, erweist sich ausserordentlich lehrreich und wichtig, besonders für Orte zwischen und nahe den Wendekreisen. Sie liefert für die jährliche Variation diejenige Art von Analyse, welche für die tägliche durch die Stunden gegeben ist. Jeder Monat erzählt uns durch eine Vergleichung seiner Curve mit denen anderer Monate seine eigene Geschichte und schlingt gleichzeitig ein Band um seinen Vorgänger und Nachfolger.

2948. Ich werde Gelegenheit haben, diese Monatsmittel später zu verfolgen, für jetzt will ich nur darauf hinweisen, dass der Effect des jährlichen Heranrückens und Rückganges der Sonne, wie er durch diese Mittel angedeutet ist, mit der Hypothese der nahen und fernen Wirkungen in Einklang steht (2945). Hobarton und Toronto liegen auf entgegengesetzten Halbkugeln, so dass die Sonne, während sie sich dem einen nähert, sich von dem anderen entfernt, und daher ändert sich die Grösse der Abweichung im entgegengesetzten Sinne. Hier führe ich die Durchschnittswerthe der einzelnen Monate auf, die für Hobarton aus einem siebenjährigen, für Toronto aus einem zweijährigen Mittel abgeleitet sind.

	Hobarton. Breite 42° 52′,5 S.		Toronto. Breite 43° 39′,35 N.	
	′		′	
Januar . . .	11,66		6,51	
Februar . .	11,80		6,40	
März . . .	9,50		8,50	
April . . .	7,26		9,52	
Mai . . .	4,56		10,34	
Juni . . .	3,70	Winter	11,99	
Juli . . .	4,61		12,70	Sommer
August . .	5,89		12,68	
September .	8,24		9,72	
October . .	11,01		7,59	
November . .	12,05	Sommer	5,75	
December . .	11,81		4,47	Winter.

Die Breitenlage der beiden Orte ist nur um 47′ von einander verschieden, und ebenso gering ist der stärkste Unterschied des atmosphärischen Effectes

zwischen Sommer und Winter, der für Hobarton, das unter der höheren Breite liegt, 8'35 und für Toronto 8',23 beträgt.

2949. Nach Dove ist die nördliche Halbkugel im Juli um 17^0,4 F. wärmer als die südliche und im Winter nur um 10^0,7 kälter. Die Zahlen sind folgende:

Juli.	Nördliche Halbkugel	71^0,0	62^0,3 für die ganze Erdkugel.
	Südliche Halbkugel	53,6	
Januar.	Nördliche Halbkugel	48,8	54^0,15 für die ganze Erdkugel.
	Südliche Halbkugel	59,5	

Das Jahresmittel beträgt für die nördliche Halbkugel 59^0,9, für die südliche 56^0,5. Demnach hat, wie Dove ferner zeigt, die ganze Erde im Juli, wann die Sonne die Land-Wasser-Theile bestrahlt, eine um 8^0 höhere Temperatur als im Januar, wo sie über den Wasserregionen steht; und aus demselben Grunde ist das Temperaturmittel der südlichen Halbkugel um 3^0,4 niedriger als das der nördlichen. Der Unterschied zwischen Januar und Juli beträgt für die nördliche Halbkugel 22^0,2 und für die südliche nur 5^0,9. Diese Unterschiede sind so eigenthümlich in ihrer Anordnung und von solcher Grösse, dass sie einen Einfluss auf die Vertheilung der magnetischen Kräfte der Erde haben müssen, allein die Data reichen noch nicht aus, um die Resultate festzustellen. Sabine hält es nach seiner Discussion der Beobachtungen für wahrscheinlich, dass die Intensität der Gesammtsumme der erdmagnetischen Kräfte grösser ist, wenn die Sonne in den südlichen Zeichen steht, d. h. in unserem Winter (2891). Ich würde ein solches Ergebniss nach der Theorie erwarten, wenigstens für die Orte, wo die Inclination nicht sehr gross ist, da eine kältere Atmosphäre die magnetischen Kraftlinien besser leiten muss, und die Liniensysteme rings um die Erde sich zu der Zeit in den kälteren Gegenden gleichsam condensiren müssen. Es ist jedoch zweifelhaft, ob die Nadel diesen Unterschied anzeigt, da die Kraftlinien nicht, wie in dem früher angenommenen Falle (2922), oben festgehalten werden würden, sondern sich frei aus dem Weltraum zurückziehen könnten. Aus dem Gesagten ist jedoch klar, dass ein derartiger Schluss sich mit einiger Zuverlässigkeit nur aus ziemlich gleichmässig in beiden Erdhälften angestellten Beobachtungen ziehen liesse.

2950. Gelangen wir einst zu einer guten Kenntniss der jährlichen Variation für mehrere Orte in verschiedenen Theilen beider Erdhälften, so würden wir hiermit Data erhalten, aus denen erschlossen werden könnte, in welcher Tiefe die magnetische Kraft eigentlich ihren Sitz habe. Denn da sich vermuthen lässt, dass diese Kraft in Folge der jährlichen Temperaturänderungen Schwankungen unterliegt, die sich über weite Gebiete der Erdoberfläche erstrecken (2884), so würden diese in der Art und Ausdehnung verschieden sein, je nachdem der Ursprung der Linien sich mehr oder weniger tief gelegen erwiese.

2951. Was die vielen, nicht periodischen oder wenigstens nicht in Bezug auf die Sonne periodischen Veränderungen der magnetischen Kraft betrifft, welche die bereits erwähnten (2945) unregelmässigen und überwiegenden Schwankungen hervorbringen, die, wie ich vermuthe, von localen Aenderungen der Atmosphäre bedingt sind, so mag es mir erlaubt sein, meine Gedanken hierüber kurz mitzutheilen.

2952. Die *Druckänderung* der Atmosphäre über einem gegebenen Gebiet der Erdoberfläche muss eine Aenderung des magnetischen Zustandes dieses Gebietes der Erde zur Folge haben. Sie kann, soviel wir wissen, 3 Zoll Quecksilber oder ein Zehntel des Gewichts der Atmosphäre betragen. Nun ist der Sauerstoff paramagnetisch nach Verhältniss seiner Menge (2780) in einem gegebenen Raum, und daher erscheint es nicht möglich, dass jene Menge über einem gegebenen Gebiet der Erdoberfläche, sie mag nun wie früher ihrem Volumen nach oder ihrem Gewichte nach in einem gegebenen Volumen an der Erdoberfläche betrachtet werden, sich bis zu einem Zehntel des ganzen Betrages ändern könnte, ohne eine entsprechende Aenderung in der Vertheilung der magnetischen Kraft zu bewirken; vielmehr müssten bei Zunahme der Menge oder des barometrischen Druckes die Linien sich zusammendrängen und die Kraft stärker werden und das Umgekehrte müsste bei der Abnahme des Druckes eintreten.

2953. An jedem innerhalb der Grenzen dieses Raumes liegenden Ort, wo der Druck der Luft zu- oder abnimmt, treten wahrscheinlich Aenderungen in der Richtung der Kraftlinien ein, und sie werden sich besonders an solchen Orten bemerklich machen, die zwischen zwei anderen liegen, an deren einem die Atmosphäre sich anhäuft, während sie sich an dem anderen zurückzieht. Ob die Wirkungen, welche diese Aenderungen (die, wie ich glaube, eintreten müssen) in der Nähe hervorbringen, gross genug sind, um an unseren magnetischen Instrumenten wahrgenommen zu werden, ist eine späterhin zu lösende Frage. Es ist nützlich, eine bestimmte Ursache im Auge zu haben, weil die Kenntniss des Daseins, der Natur und der Wirkung einer Ursache für die beste Anordnung der Beobachtungsmittel und die zu erwartenden Erfolge von Bedeutung ist.

2954. *Winde und starke Strömungen in der oberen Luft* mögen oft, wenn sie einige Zeit andauern, von magnetischen Aenderungen begleitet sein. Eine constante Strömung wie der Passat mag eine constante Wirkung haben; wenn aber, bei einer gegebenen, durch den Zustand der Atmosphäre in einem gegebenen Zeitpunkte bedingten Vertheilung der magnetischen Kraftlinien in derselben sich ein Wind erhebt, der kalte und warme Luftgebiete durcheinandermischt, oder bewirkt, dass die Luft in dem einen Gebiet dichter wird als in einem anderen, oder indem er von dem einen zu einem anderen geht, Gebiete ausgleicht, die sich vorher in verschiedenen Zuständen befunden hatten, dann wird jede derartige Aenderung von einer entsprechenden Aenderung in der Vertheilung der magnetischen Kraft begleitet sein, die

wir vielleicht später mit Hülfe unserer Instrumente werden ermitteln können. Selbst Gezeiten in der Luft müssen einen Einfluss haben, obschon er am Ende zu gering ist, um wahrgenommen zu werden.

2955. Das Fallen von *Regen oder Schnee* ist der Theorie zufolge ein weiterer Grund zur Aenderung der magnetischen Beziehungen in dem davon betroffenen Gebiete, weil dessen Temperatur dadurch geändert und es von einer Menge verdünnender diamagnetischer oder neutraler Substanz befreit wird. Ein *Hagelschauer dürfte* im Sommer auf die Nadel wirken. *Wolken* können ihren Einfluss auf mannigfache Weise geltend machen; bald durch ihren Unterschied gegen benachbarte Gegenden mit heiterem Himmel, bald durch ihre Absorption der Sonnenstrahlen, wodurch sie eine beträchtliche Erwärmung an verschiedenen Punkten in verschiedenen Höhen der Atmosphäre zur Folge haben, oder die Erwärmung an der Oberfläche der Erde mehr oder weniger verhindern. Diejenigen Massen von wärmerer oder kälterer Luft, von denen die Meteorologen reden, und die wegen ihrer Durchsichtigkeit dem Auge nicht wahrnehmbar sind, werden eine verhältnissmässige Wirkung ausüben. Und es wäre auch nicht undenkbar, dass die warme und theilweise desoxydirte Luft einer grossen Stadt wie London die Instrumente in der Nähe beeinflusste, und wenn dies richtig ist, so wird der Einfluss zu verschiedenen Zeiten verschieden sein, je nach der Richtung des Windes.

2956. Denkt man sich eine Stelle an der Erdoberfläche, die daselbst die Resultirende der Wirkungen der darüber befindlichen Atmosphäre repräsentirt, und vergegenwärtigt man sich deren Lauf, wie sie unter dem Einfluss der verschiedenen, zum Theil schon erwähnten Ursachen hin- und herwandert, während sie noch mit der Sonne fortgeht, so kann man sich eine Vorstellung bilden, wie sie die auf der Erde befindlichen Observatorien beeinflusst. Ich glaube, dass ihr Verlauf, was die östliche und westliche Richtung ihrer Wanderung betrifft, zum Theil durch die photographischen Aufzeichnungen zu Greenwich und Toronto dargestellt wird, jedoch untermengt mit anderen Ursachen der Aenderungen. Diese Stelle kann concentrirt oder ausgedehnt sein, kann fortgehen und anderswo wieder erscheinen, ja es kann deren zwei oder mehrere geben, stark genug, um die Nadel zwischen ihnen in Schwingungen zu versetzen.

2957. Das Nord- oder Südlicht kann schwerlich unabhängig von der magnetischen Constitution der Atmosphäre sein, da es im Gebiete derselben und vielleicht in dem Raume darüber auftritt. Der Ort des Polarlichtes ist im Allgemeinen unter den Breiten, deren Luft durch Temperatur- und Mengenunterschiede eine bestimmte magnetische Beziehung zu der des Aequators hat, und beide, das Polarlicht und das Medium, worin es vorkommt, sind durch magnetische Charaktere mit einander verknüpft; daher wird uns eine Beachtung und ein Verständniss des letzteren wahrscheinlich zu einer besseren Kenntniss des ersteren führen. Man kennt bereits den Zusammenhang des Polarlichtes mit magnetischen Störungen und Gewittern; vielleicht erkennt

man auch dereinst seinen Zusammenhang in einer für jetzt noch nicht vorauszusehenden Weise mit den Aenderungen der Atmosphäre; die Vermuthung, auf Princip gegründet, scheint der Ueberlegung werth zu sein.

2958. Können Humboldt's magnetische Gewitter von atmosphärischen Veränderungen herrühren? Ueber diese Frage möchte ich folgende Bemerkungen machen. Gesetzt, es gäbe in der Atmosphäre einen Ort magnetischer Ruhe, und alle örtlichen oder unregelmässigen Abweichungen blieben zur Zeit ungeändert, so würde eine Aenderung an einer Stelle sich augenblicklich überall auf der ganzen Erde bemerkbar machen, an jedem Punkte im Verhältniss seiner Entfernung von der Stelle, wo die Aenderung eintrat. Sie würde sich augenblicklich bemerkbar machen, weil der Impuls sich nicht hauptsächlich oder in erheblichem Maasse durch die Substanz der Erde oder die Luft, sondern durch den Raum darüber fortpflanzen würde; denn die Linien daselbst würden afficirt werden in Folge von Aenderungen in demjenigen ihrer Theile, der durch die Atmosphäre geht, und würden, wie ich's mir denke, die anderen Linien im Raume rings um unsere Erde afficiren, die ihrerseits wiederum auf diejenigen Theile der Linien wirken würden, welche zur Erde herabgehen und die Nadeln beherrschen. Im Weltraume, wo die magnetischen Kraftlinien nicht von der Materie abhängig oder an sie gebunden sind (2787, 2917), werden ihre Aenderungen, denke ich mir, sich mit der Geschwindigkeit des Lichtes fortpflanzen oder gar mit der noch grösseren oder unendlichen Geschwindigkeit, die wir den Kraftlinien der Gravitation zuschreiben, und wenn dem so ist, so wird sich eine magnetische Störung an einer Stelle augenblicklich auf der ganzen Erde bemerklich machen.

2959. Allein die Schwierigkeit besteht darin, sich eine atmosphärische Aenderung zu denken, die ausgedehnt und plötzlich genug wäre, um sich unter den fortwährend stattfindenden, vergleichsweise örtlichen Schwankungen überall gleichzeitig bemerklich zu machen. Wenn jedoch in diesen Störungen in Folge von entgegengesetzten oder sonstigen Wirkungen zur selben Zeit an zwei oder mehreren Orten Ruhe wäre, so könnten jene Orte eine gleichzeitige Störung aufweisen, und zwar selbst dann, wenn die Ursache sehr klein oder an ihrem Sitze selbst gar nicht bemerkbar wäre. Eine gleichzeitige Aenderung über einen Flächenraum von 600 oder 800 Meilen Durchmesser könnte in der Mitte desselben weniger bemerkbar sein als an den Enden der Radien von 1000 Meilen.

2960. Es ist eine interessante principielle Frage, inwieweit Luftmassen durch die sie durchdringende magnetische Kraft *bewegt* werden können. Wenn zwei Sauerstoffmengen von verschiedener Dichtigkeit einem kräftigen Magnet, der ein magnetisches Feld von grosser Intensität erzeugt, unterworfen werden, so ist die Verdrängung der einen Menge durch die andere sehr auffallend. Ob in der Natur die ungeheure Grösse der betreffenden Luftmengen und der Unterschied in der Intensität der erdmagnetischen Kraft

unter den verschiedenen Breiten, im Verein mit dem Temperaturunterschied ausreichend sind, um den geringen Sauerstoffgehalt der Luft und die kleineren Dichtigkeitsschwankungen auszugleichen, ist eine Frage, die sich für jetzt nicht entscheiden lässt. Die aus einer Differentialwirkung resultirende Bewegung ist, wie gezeigt worden, sehr gross, während die directe Wirkung, wie die einer Compression, nicht nur ein sehr kleines Resultat, sondern Null giebt (2774, 2780), und die Atmosphäre ist ein Gebiet, wo es sich um die Differentialwirkung ungeheurer Massen handelt.

2961. Was nun den Unterschied in der Intensität betrifft, so schliessen Gay-Lussac und Biot aus ihren Beobachtungen[1]), dass die magnetische Kraft in einer Höhe von vier Meilen ebenso gross ist wie an der Oberfläche der Erde. Kupffer schliesst jedoch aus Gay-Lussac's Beobachtungen, dass sie dort ein wenig geringer war, und Forbes folgert aus seinen in verschiedenen Theilen Europas angestellten Versuchen[2]), dass die Kraft nach oben hin abnehme. Eine solche Abnahme kann eine nothwendige Folge der grösseren Entfernung vom Ursprung des Erdmagnetismus sein, oder, was wahrscheinlicher ist, davon herrühren, dass der Sauerstoffgehalt dort ein anderer ist als an der Erdoberfläche. Nach Gay-Lussac's Angabe war die Dichtigkeit der von dort heruntergebrachten Luft nur halb so gross als die der unteren. Es würde also der Zuwachs der paramagnetischen Kraft des Raumes an der Stelle, der die Luft entnommen war, nur halb so viel betragen, als der unten aus der Gegenwart der dichteren Atmosphäre resultirende Zuwachs. Hieraus muss sich, glaube ich, ein Unterschied in der Vertheilung der magnetischen Kraft ergeben; fast sicher muss es unter dem Aequator der Fall sein, wo die Kraftlinien der allgemeinen Richtung der Atmosphäre parallel sind (2881), und für die Horizontalcomponente, glaube ich, auch unter der Breite, unter welcher Gay-Lussac und Biot ihre Luftreisen machten. Es ist auch ebenso möglich, dass die Beobachter in solcher Relation zu der wärmeren oder kälteren Luft ihrer Umgebung standen, dass sie den durch einige der eben (2951) beschriebenen Umstände hervorgerufenen oder vielmehr abgeänderten Unterschied zu beobachten Gelegenheit hatten.

2962. Mag nun das von Gay-Lussac und Biot erlangte Resultat eine von der Entfernung herrührende Aenderung des Magnetismus anzeigen oder nicht, so wissen wir doch, dass vom magnetischen Aequator aus nach Norden und Süden grosse Aenderungen *vorhanden sind*, und dass, wie Humboldt und Bessel sagen, die magnetische Kraft vom Aequator nach den Westgrenzen der Baffin's-Bay um das Doppelte zunimmt. Und wenn eine so kleine Menge Sauerstoff wie ein Drittel Cubikzoll, der Wirkung unseres kräftigen Magnets ausgesetzt, eine Kraft auszuüben vermag, die

---

[1]) Annales de Chimie, An. XIII, vol. LII, p. 86.
[2]) Edinb. Phil. Trans. 1836, vol. XIV, p. 25.

einem Gewicht von $^1/_{10}$ Gran entspricht*), so lässt sich wohl begreifen, dass die ungeheure Menge Sauerstoff, die schon in wenigen Meilen erwärmter oder kalter Luft enthalten ist, den grossen Unterschied der magnetischen Kraft ausgleichen und so durch eine Ortsveränderung Strömungen oder Winde verursachen kann, die ihren Ursprung im Magnetismus haben. In solcher Weise lässt sich eine Beziehung des Magnetismus zu Stürmen denken; demnach würde die magnetische Kraft der Erde bei den mechanischen Verschiebungen und Schwankungen der Atmosphäre eine Rolle spielen, indem sie zuweilen Strömungen veranlasst, die ohne sie nicht existiren würden, und zu anderen Zeiten denen entgegenwirkt, die sonst entstehen würden, je nachdem die mächtigen Differentialbeziehungen, die dabei in's Spiel treten (2757), sich mit den sonstigen natürlichen Ursachen der Luftbewegung combiniren oder ihnen entgegenwirken. Solche Bewegungen würden eine Rückwirkung auf die magnetischen Kräfte ausüben, die sich in ihrer eigenen Anordnung geltend machen würde, und so würde es in der Atmosphäre sowohl materielle als auch potentielle magnetische Gewitter geben, wie sie von der letzteren Art in der Erde angenommen werden.

2963. Zum Schlusse dieser Mittheilung habe ich noch meinen Freunden Sabine und Christie meinen Dank auszusprechen für das Interesse, welches sie an dem Gegenstande genommen haben, und dem Ersteren überdies für die ausserordentliche Gefälligkeit, mit der er mir die Benutzung von Beobachtungen und der daraus entnommenen Daten gestattete; allein ich darf hierbei nicht die Meinung aufkommen lassen, als ob sie für die Ansichten, welche ich aufzustellen gewagt habe, irgend verantwortlich wären. Ich erkenne wohl, dass Vieles von dem, was ich geschrieben habe, auf sehr unzureichender Ueberlegung beruht, hoffe jedoch, dass in der Darstellung der von mir vermutheten physikalischen Ursache der Variationen einiges Wahre liegt, und daher nahm ich keinen Anstand, sie vorzulegen, im Vertrauen, dass sie der Wissenschaft zum Vortheil gereichen werde. Die magnetischen Eigenschaften und Beziehungen des Sauerstoffs sind vollkommen klar und deutlich und durch den Versuch festgestellt (2774, 2780), und es ist keine Hypothese, diese Eigenschaften auf die Atmosphäre zu übertragen, zumal da gezeigt worden, dass die Atmosphäre, die ja nur ein Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff ist, dieselben gleichfalls besitzt (2862).[1]) Sie ändert ihr magnetisches Verhalten durch Ursachen, welche unter natürlichen Umständen auf sie einwirken und sie befähigen, einige der Effecte hervorzubringen, welche ich bemüht war in der Hauptsache zu beschreiben.

2964. Wenn sie auch nur zum Theil die Ursache der beobachteten magnetischen Variationen ist, so ist es sehr wichtig, eine solche Wirkungs-

---

*) Vgl. Art. 2795. D. Ü.

[1]) Philosophical Magazine, 1847, vol. XXXI, pp. 406, 409. [Siehe weiter unten.]

quelle zu identificiren und zu unterscheiden, selbst wenn dies nur unvollkommen geschehen kann; denn die Aufmerksamkeit wird dann mit Recht und Verständniss auf die Wirkungen und die Erscheinungen, die sie hervorzubringen vermag, hingelenkt. Die angedeutete Ursache hat den Vorzug periodisch aufzutreten und in denselben Perioden, wie eine grosse Klasse von Wirkungen, die sie muthmasslich hervorbringt; und wenn die Uebereinstimmung anfangs auch nur als eine allgemeine erscheinen sollte, so wird doch hierdurch der Anspruch auf unsere Aufmerksamkeit beträchtlich erhöht. Sie bietet den Vortheil, Erklärungen und selbst Vermuthungen über viele andere magnetische Vorgänge ausser den periodischen zu liefern, und sie bietet sich uns dar zu einer Zeit, wo wir keine klare Kenntniss von einer anderen physikalischen Ursache der Variationen haben, sondern gezwungen sind, sie willkürlich auf fingirte elektrische Ströme in der Luft oder dem Raume darüber oder in der Erde zurückzuführen.

2965. Die Ursache der ursprünglichen Kraft sowohl als auch ihrer säcularen Veränderungen ist uns unbekannt. Wenn wir aber, indem wir die Erde als einen Magnet ansehen, im Stande wären, zwischen inneren und äusseren Wirkungen zu unterscheiden und so eine grosse Klasse von Phänomenen von den übrigen zu sondern, so würden wir genauer bestimmen können, was wir nach beiden Richtungen hin wissen müssen, würden in der Lage sein, scharf die Probleme anzugeben, die einer Lösung bedürfen, und würden jeden neuen Wink der Natur über die *Quelle* der Kraft und deren Wirkungen weit besser zu würdigen wissen.

2966. Der Magnetismus des Sauerstoffs erscheint mir wunderbar. Er ist in der Luft das, was das Eisen in der Erde ist. Das fast gänzliche Verschwinden seiner magnetischen Eigenschaft, wenn er Verbindungen eingeht, wie mit Stickstoff, Kohlenstoff und selbst mit Eisen, dessen Magnetismus er weit unter den einer gleichen Gewichtsmenge des Metalles und des Sauerstoffs selbst reducirt, ist höchst merkwürdig. Ebenso frappant ist sein ausgesprochener Gegensatz zum Stickstoff, der ihn verdünnt, und er erinnert an die Verschiedenheit, welche auch hinsichtlich der statischen Elektricität (1464) und der leuchtenden Entladung zwischen ihnen besteht. Chlor, Brom, Cyan und deren chemisch analoge Körper haben keine magnetische Beziehung zum Sauerstoff. Er steht in dieser Beziehung, wie in allen seinen chemischen Wirkungen, allein in der Natur.

2967. Der Sauerstoff in seiner Beziehung zum atmosphärischen Magnetismus giebt uns noch viel zu thun. Die verhältnissmässige Stärke seines Paramagnetismus bei verschiedenen Temperaturen und verschiedenen Dichtigkeitsgraden muss genau ermittelt werden, und dies hoffe ich mit Hilfe einer Torsionswaage verbesserter Construction (2783) zu bewerkstelligen. In der That hoffe ich, dass man dieser grossen Frage sowohl Versuch als Beobachtung in ausgedehntem Maasse zuwende, und daher mache ich sie gern zu einem Bestandtheil dieser Experimentaluntersuchungen.

2968. Man kann über den atmosphärischen Magnetismus kaum nachdenken, ohne dass eine andere grosse Frage sich uns aufdrängt (2442): Was bezweckt die Natur mit dieser magnetischen Beschaffenheit der Atmosphäre, warum ist sie jährlichen und täglichen Schwankungen unterworfen und warum verliert sie sich völlig, wenn ihr Sauerstoff bei der Verbrennung oder Athmung eine Verbindung eingeht? Ohne Zweifel giebt es einen oder mehrere Zwecke, denn in der Natur ist nichts überflüssig. Bei den Kräften in der Natur finden wir keinen Ueberrest oder Ueberschuss. Der kleinste Vorrath ist so wesentlich als der grösste. Nichts ist mangelhaft, nichts kann gespart werden.

Royal Institution,
14. September 1850.

Anhang.

Eingegangen am 12. November 1850.

Die folgenden Tabellen, welche aus den Beobachtungen zu Toronto, St. Petersburg, Washington, Athabaska-See und Fort Simpson erlangte Data enthalten, und die ich der Güte Sabine's verdanke, sind bisher noch nicht veröffentlicht worden. Die Data für Hobarton und Greenwich finden sich in den Beobachtungsjournalen dieser Stationen.

Toronto. — Länge 77° 5′ W. Breite 43° 40′ N. Angenäherte Declination 1° 25′ W. Mittlere Inclination 75° 15′ N. Tägliche Abweichung der Declination in den einzelnen Monaten von Juli 1842 bis Juni 1848 einschliesslich. Wachsende Zahlen bedeuten eine Bewegung des südlichen oder oberen Endes des Magnets nach West.

Toronto mittlere Zeit	0h Mittag	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h Mttrn.	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Tägliche Mittel
Januar	0.87	0.00	0.00	0.53	1.44	2.28	2.89	3.47	4.43	4.53	4.39	4.06	3.66	3.42	3.63	3.87	4.46	3.84	3.88	4.44	5.48	5.80	4.79	3.03	3.30
Februar ...	0.78	0.00	0.06	0.94	1.58	1.91	2.73	3.13	4.02	4.44	4.69	4.45	4.31	3.81	3.54	4.07	3.97	4.86	4.95	5.20	5.97	5.70	4.64	2.53	3.43
März.....	1.44	0.01	0.00	0.59	1.74	2.90	3.82	4.77	5.63	6.60	6.47	6.86	6.04	6.42	6.55	6.34	6.69	6.59	7.10	8.30	9.38	9.40	7.15	4.22	5.21
April	1.25	0 00	0.16	1.02	2.76	4.12	5.14	6.31	7.05	7.14	7.60	7.66	7.39	7.32	7.65	7.82	8.08	8.33	9.46	10.09	10 20	9.10	6.87	3.74	6.09
Mai.....	1.16	0.00	0.29	1.56	3.24	5.11	6.08	6.27	6.18	6.75	7.36	7.49	7.40	7.26	6.72	7.10	7.80	9.70	11.02	12.16	12.03	10.28	6.90	3.52	6.39
Juni	1.37	0.00	0.02	0.94	2.53	4.35	5.45	6.11	6.10	6.66	6.66	6.87	6.77	6.50	6.37	6.36	7.29	9.03	11.34	12.34	12.09	10.54	7.67	4.04	6.12
Juli.....	1.53	0.09	0.00	0.84	2.18	3.98	5.20	5.77	6.31	6.34	7.31	7.38	7.67	7.06	6.42	6.37	6.86	8.53	10.54	12.01	12.22	10.69	7.65	4.27	6.13
August	1.11	0.00	0.73	2.61	4.52	6.12	7.60	7.52	8.05	8.97	8.51	8.40	8.14	7.69	7.65	7.83	8.24	9.50	12.09	13.89	13.79	11.51	7.31	3.73	7.31
September .	0.03	0.00	0.76	2.92	4.62	6.04	6.78	6.83	7.62	7.84	7.83	7.08	7.50	7.66	7.53	7.77	8.45	8.38	9.79	11.16	10.24	8.60	5.34	2.25	6.37
October ...	0.48	0.00	0.31	1.38	2.38	3.06	3.84	4.33	4.92	5.76	5.68	5.48	5.00	5.21	4.89	5.16	5.82	5.74	5.50	6.39	7.32	7.02	5.17	2.63	3.89
November .	0.75	0.00	0.34	1.37	2.21	2.91	3.96	4.89	5.16	5.70	5.54	5.26	4.51	3.79	3.80	4.51	4.44	4.99	4.95	5.70	6.31	6.08	4.57	2.35	3.92
December .	1.20	0.18	0.00	0.61	1.67	2.56	3.30	3.89	4.39	4.62	4.95	4.48	4.09	3.49	3.04	3.56	3.92	4.02	3.81	4.18	4.50	5.22	4.67	2.83	3.30

Mittlere tägliche Abweichung der Inclination in den einzelnen Monaten von Juli 1842 bis Juni 1848. Wachsende Zahlen bedeuten zunehmende Inclination.

Januar	1.02	0.77	0.53	0.22	0.00	0.09	0.16	0.21	0.25	0.33	0.34	0.38	0.47	0.54	0.58	0.45	0.33	0.28	0.22	0.21	0.36	0.54	1.04	1.06	0.43
Februar ...	0.86	0.61	0.36	0.12	0.01	0.00	0.09	0.12	0.19	0.26	0.27	0.31	0.37	0.45	0.49	0.44	0.41	0.30	0.27	0.44	0.69	0.70	0.79	0.86	0.39
März.....	1.02	0.77	0.47	0.14	0.00	0.00	0.12	0.22	0.24	0.35	0.40	0.44	0.45	0.53	0.50	0.50	0.46	0.46	0.47	0.62	0.81	0.95	1.00	1.05	0.50
April	0.99	0.77	0.54	0.17	0.05	0.00	0.14	0.35	0.49	0.53	0.49	0.61	0.56	0.59	0.64	0.61	0.60	0.66	0.74	0.80	0.90	1.03	1.16	1.16	0.61
Mai.....	0.83	0.52	0.22	0.06	0.00	0.11	0.27	0.33	0.47	0.62	0.64	0.66	0.76	0.86	0.87	0.89	0.92	1.04	1.00	1.01	1.11	1.29	1.30	1.12	0.70
Juni	0.89	0.60	0.26	0.05	0.00	0.00	0.16	0.34	0.53	0.68	0.73	0.83	0.84	0.90	0.91	0.98	1.03	1.05	1.08	1.12	1.17	1.27	1.37	1.19	0.75
Juli.....	0.67	0.55	0.17	0.07	0.00	0.06	0.17	0.24	0.39	0.40	0.51	0.56	0.62	0.56	0.66	0.78	0.83	0·87	0.81	0.80	0.88	1.03	1.14	0.93	0.57
August	0.85	0.51	0.21	0.00	0.02	0.04	0.25	0.40	0.42	0.44	0.48	0.55	0.53	0.64	0.65	0.73	0.74	0.84	0.89	1.00	1.09	1.25	1.26	1.13	0.62
September .	1.35	0.82	0.35	0.10	0.00	0.10	0.29	0.49	0.53	0.55	0.57	0.63	0.68	0.70	0.70	0.75	0.57	0.65	0.68	0.95	1.28	1.64	1.85	1.71	0.75
October ...	0.93	0.67	0.39	0.14	0.00	0.06	0.21	0.30	0.37	0.39	0.40	0.49	0.62	0.45	0.40	0.33	0.22	0.22	0.32	0.55	0.85	1.04	1.15	1.11	0.48
November .	0.94	0.75	0.45	0.22	0.11	0.18	0.12	0.18	0.20	0.20	0.23	0.33	0.33	0.31	0.21	0.22	0.12	0.07	0.00	0.08	0.42	0.14	0.89	1.00	0.32
December .	0.91	0.88	0.51	0.27	0.05	0.01	0.02	0.16	0.21	0.27	0.33	0.30	0.38	0.34	0.28	0.22	0.14	0.08	0.09	0.00	0.17	0.34	0.66	0.81	0.31
Stundnmttl.	0.94	0.69	0.37	0.13	0.02	0.05	0.17	0.28	0.36	0.42	0.45	0.51	0.55	0.57	0.57	0.58	0.53	0.54	0.55	0.63	0.81	0.93	1.13	1.10	0.54

Toronto. — Mittlere tägliche Aenderung der Gesammtintensität in den einzelnen Monaten von Juli 1842 bis Juni 1848. Wachsende Zahlen bedeuten zunehmende Intensität. Mittlerer Werth der Gesammtintensität in Toronto 13,9. Die Zahlen geben die Aenderungen in Bruchtheilen der Gesammtintensität an.

Toronto mittlere Zeit	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	Tagesmittel
	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Januar	005	011	017	023	022	024	023	023	023	020	019	015	010	009	004	003	004	005	008	009	010	003	000	000	012
Februar . . .	006	012	019	022	024	026	026	027	025	023	019	017	009	005	003	004	003	006	009	010	016	004	000	001	013
März	004	011	019	026	029	031	031	031	028	025	020	014	005	002	002	002	003	003	010	013	013	007	002	000	014
April	012	020	031	039	045	045	044	039	034	027	020	012	008	007	003	000	009	011	013	012	012	009	006	006	019
Mai	004	013	015	031	038	042	038	035	029	025	017	011	004	002	002	003	008	010	015	013	009	003	000	000	015
Juni	003	008	017	025	029	031	030	028	022	018	014	011	006	002	002	001	006	011	014	014	010	005	002	000	013
Juli	015	019	030	038	044	047	043	039	031	026	021	015	007	004	000	002	005	011	016	017	015	014	010	002	020
August	027	034	044	042	057	057	051	046	041	032	023	010	006	001	003	000	006	018	026	026	024	019	019	021	026
September . .	029	043	053	060	060	056	052	050	044	038	034	029	019	007	000	001	004	009	018	022	028	015	016	021	030
October . . .	013	021	027	032	032	033	033	034	031	026	023	018	007	003	005	002	000	005	011	014	018	011	008	006	017
November . .	007	014	022	026	028	025	025	028	024	018	015	011	007	004	001	003	000	003	007	009	008	002	001	003	011
December . .	004	010	019	020	023	021	021	021	019	018	017	012	010	008	006	007	003	003	007	006	006	006	001	000	011
Mittel	011	018	026	032	036	037	035	033	029	025	020	015	008	005	003	002	004	008	013	014	014	008	005	006	017

Mittlere Lufttemperatur in Graden Fahrenheit in den einzelnen Monaten von Juli 1842 bis Juni 1848.

	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Januar	27.8	28.3	28.6	28.5	28.0	27.1	26.3	25.8	25.5	25.3	26.3	24.6	25.6	23.5	23.4	21.6	23.2	23.0	23.7	23.6	23.9	24.8	26.0	27.1	25.48
Februar . . .	27.4	28.2	28.5	28.5	28.0	26.9	25.6	24.6	23.8	23.2	22.7	22.2	22.0	21.7	21.3	20.9	20.5	20.2	20.0	19.9	20.9	22.9	24.9	26.3	23.80
März	33.8	34.4	35.0	34.9	34.3	33.6	31.9	30.5	29.5	28.6	28.0	27.3	27.3	26.8	26.3	26.2	25.8	25.5	25.0	25.9	27.8	29.9	31.6	32.8	29.71
April	47.6	48.5	49.0	49.0	48.6	47.9	46.1	43.5	41.8	40.7	39.8	39.3	39.1	38.9	37.9	37.3	37.0	36.6	36.8	39.2	41.5	43.6	45.2	46.6	42.55
Mai	59.0	59.9	60.2	60.3	60.3	59.9	58.1	55.2	52.6	50.7	49.7	48.8	48.0	46.9	46.3	45.6	45.1	45.2	47.6	50.6	53.0	55.2	56.8	58.0	53.04
Juni	66.7	67.5	67.9	68.3	68.5	68.1	66.6	63.9	60.6	58.4	57.0	56.1	55.7	54.8	54.1	53.3	52.7	52.9	55.6	58.5	60.8	62.7	64.4	65.6	60.86
Juli	72.9	73.7	74.5	74.8	74.7	74.3	72.7	69.2	65.1	62.9	61.8	60.7	59.8	58.9	58.3	57.6	56.9	56.9	59.8	63.4	66.0	68.2	70.1	71.5	66.02
August	73.0	73.9	74.5	74.8	74.6	74.1	72.5	68.4	65.3	63.6	62.4	61.6	60.7	60.0	59.4	58.7	58.3	58.1	59.6	63.2	66.3	68.7	70.6	72.1	66.43
September . .	63.9	64.5	64.9	64.9	64.7	63.7	61.1	58.3	57.1	56.0	54.9	54.2	53.8	53.3	52.7	52.2	51.6	51.1	51.7	54.2	57.0	59.5	61.5	62.9	57.90
October	49.7	50.3	50.5	50.3	49.6	47.8	45.8	44.7	43.9	43.1	42.3	41.6	41.0	40.4	40.1	39.9	39.5	39.4	39.6	40.4	42.8	45.6	47.5	48.9	44.35
November . .	39.5	40.0	40.1	39.9	39.0	37.7	36.9	36.3	35.9	35.7	35.3	34.9	34.3	34.0	33.7	33.4	33.2	33.3	33.6	33.6	34.6	36.2	37.7	38.8	36.15
December . .	29.9	30.4	30.7	30.5	29.8	28.9	28.2	27.9	27.5	27.3	27.0	26.9	26.6	26.0	25.7	25.5	25.5	25.5	25.1	25.0	25.4	26.6	27.9	29.1	27.44
Mittel	49.27	49.97	50.37	50.39	50.01	49.17	47.65	45.69	44.05	42.96	42.27	41.52	41.16	40.41	39.93	39.35	39.11	38.97	39.84	41.46	43.33	45.32	47.02	48.31	44.48

St. Petersburg. — Länge 38° 18′ E. Breite 59° 57′ N. Mittlere Declination 6° 10′ W.
Mittlere tägliche Aenderung der Declination in den einzelnen Monaten von 1841 bis 1845 einschliesslich.
Wachsende Zahlen bedeuten eine Bewegung des südlichen oder oberen Endes des Magnets nach West.

Mittlere Zeit	Mittag h m 0 21½	h m 1 21½	h m 2 21½	h m 3 21½	h m 4 21½	h m 5 21½	h m 6 21½	h m 7 21½	h m 8 21½	h m 9 21½	h m 10 21½	h m 11 21½	Mitternacht h m 12 21½	h m 13 21½	h m 14 21½	h m 15 21½	h m 16 21½	h m 17 21½	h m 18 21½	h m 19 21½	h m 20 21½	h m 21 21½	h m 22 21½	h m 23 21½	Mittel
Januar . .	0.27	0.00	0.36	1.24	1.59	1.99	2.39	3.28	4.03	4.65	4.56	4.65	4.43	3.72	3.77	3.10	2.57	2.22	2.35	2.17	2.08	1.86	1.42	1.02	2.49
Februar .	0.84	0.00	0.09	0.57	1.55	2.84	3.54	3.63	4.03	5.18	5.67	5.49	5.27	4.52	4.34	4.65	4.34	3.90	4.03	3.77	3.50	3.23	2.61	1.46	3.29
März . . .	0.89	0.00	0.04	1.15	2.88	4.16	5.36	6.29	6.73	6.78	7.40	7.84	6.69	6.51	5.76	6.11	6.38	6.16	6.65	6.56	6.73	6.38	4.96	2.79	5.05
April . . .	1.59	0.00	0.36	2.17	4.03	5.54	7.04	7.93	8.33	8.02	9.30	9.17	8.68	8.46	8.73	8.59	9.17	9.30	9.48	10.01	10.68	9.75	7.58	4.61	7.01
Mai	1.02	0.00	0.62	2.13	3.68	5.49	6.96	7.44	7.18	6.82	7.44	8.24	8.55	8.73	8.82	9.66	10.23	10.72	11.12	11.39	11.12	9.92	7.49	3.54	7.01
Juni . . .	1.77	0.00	0.00	1.37	2.92	4.52	5.76	6.25	6.25	6.56	7.13	7.13	7.49	8.28	8.68	9.70	10.23	10.94	11.30	11.39	11.52	10.10	7.35	4.12	6.70
Juli	1.46	0.04	0.00	1.11	2.39	3.94	4.96	5.27	5.98	5.98	6.78	7.49	7.66	7.71	8.42	8.55	9.30	9.52	9.83	9.75	9.04	8.46	6.96	3.90	6.02
August . .	0.27	0.00	0.40	2.44	4.16	5.94	7.04	6.73	7.49	7.27	7.35	7.27	8.02	8.11	8.06	8.55	9.30	9.88	10.19	10.19	9.44	8.42	5.67	3.15	6.47
September	0.57	0.00	0.84	2.57	4.30	6.33	6.78	7.49	7.97	8.06	8.33	7.49	7.04	7.31	7.40	6.78	7.04	6.91	7.27	7.31	7.13	6.25	4.12	1.95	5.72
October .	0.31	0.00	0.48	1.77	3.59	4.08	4.87	5.76	6.02	6.56	6.91	6.20	5.71	5.18	4.78	4.39	4.16	3.99	4.21	4.83	5.09	4.65	3.32	1.59	4.10
November	0.09	0.00	0.36	1.55	1.90	2.71	2.79	3.15	3.81	4.39	4.47	4.34	3.68	3.06	2.75	2.35	2.22	1.82	1.82	1.90	1.77	1.77	0.93	0.57	2.26
December	0.53	0.00	0.36	1.24	1.82	2.39	2.79	2.97	4.03	4.56	4.56	4.52	3.68	3.10	2.88	2.53	2.04	1.82	1.77	1.77	1.82	1.68	1.28	0.93	2.29
Mittel . .	0.80	0.00	0.33	1.61	2.90	4.16	5.02	5.52	5.99	6.24	6.66	6.65	6.41	6.22	6.20	6.25	6.42	6.43	6.67	6.75	6 66	6.04	4.47	2.47	4.87

Mittlere Lufttemperatur nach Fahrenheit in den einzelnen Monaten von 1841 bis 1845 einschliesslich.

	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Januar . .	20.28	20.71	20.67	20.41	19.82	19.89	19.73	19.71	19.74	19.76	19.67	19.49	19.38	19.33	19.29	19 19	19.04	18.90	18.79	18.79	18.74	18.81	19.24	19.98	
Februar .	18.34	18.58	18.70	18.65	18.27	17.35	16.88	16.52	16.32	16.09	15.95	15.67	15.55	15.48	15.39	15.19	14.97	14.88	14.76	14.65	15.19	15.66	16.61	17.35	
März . . .	25.61	26.30	26.97	27.01	27.01	26.13	24.74	23.88	23.20	22.44	21.94	21.31	20.70	20.07	19.62	19.26	18.84	18.54	18.34	18.74	19.87	21.38	22.95	24.53	
April . . .	37.85	38.07	38.58	38.81	39.53	38.63	36.54	34.62	33.35	32.38	31.42	30.72	30.07	29.55	29.08	28.61	28.36	28.42	29.21	30.63	32.16	33.75	35.39	36.79	
Mai	53.46	53.80	54.31	54.72	55.10	54.29	52.23	49.84	47.91	46.19	45.38	43.90	43.16	42.37	41.83	41.47	41.56	42.73	44.19	46.06	47.88	49.57	51.17	52.65	
Juni . . .	63.03	63.48	63.83	64.36	64.97	64.07	61.90	59.97	58.19	56.48	55.04	54.07	53.26	52.58	52.00	51.50	52.27	53.33	54.95	56.57	58.21	59.72	59.02	62.15	
Juli	66.44	66.93	67.21	67.46	67.93	67.26	65.28	63.61	62.01	60.57	59.56	58.86	58.05	57.33	56.86	56.48	56.68	57.53	58.86	60.59	62.06	63.43	64.76	65.90	
August . .	67.10	68.00	68.56	68.69	69.23	68.56	65.73	63.70	62.26	60.89	60.08	59.22	58.14	57.60	57.20	56.57	56.14	56.73	57.65	59.45	61.29	63.12	64.71	66.06	
September	54.50	55.66	55.91	55.78	55.83	54.56	52.62	51.16	50.15	49.43	48.89	48.31	47.75	47.25	46.85	46.44	46.26	46.06	46.17	47.21	48.76	50.56	52.20	53.37	
October .	41.92	44.80	42.76	41.98	41.78	40.92	40.30	39.89	39.56	39.31	38.86	38.52	38.32	38.14	38.00	37.85	37.73	37.67	37.53	37.71	38.28	39.11	40.12	41.04	
November	29.73	30.22	30.88	29.75	29.26	28.96	28.83	28.67	28.58	28.41	28.52	28.49	28.47	28.45	28.42	28.27	28.13	28.04	28.00	27.95	28.07	28.42	28.83	29.37	
December	26.04	26.45	26.40	26.27	26.13	25.91	25.70	26.02	25.52	25.48	25.48	25.32	25.21	25.12	24.96	24.85	24.85	24.92	25.03	25.03	25.14	25.25	25.39	25.79	

Washington U. S. — Länge 77^0 2′ W. Breite 38^0 54′ N. Mittlere Declination 1^0 25′ W. Mittlere Inclination 71^0 20′ N.

Mittlere tägliche Aenderung der Declination in Minuten; Temperatur nach Fahrenheit in den hier aufgeführten Monaten der Jahre 1840, 1841, 1842.

Wachsende Zahlen bedeuten eine Bewegung des südlichen oder oberen Endes nach Ost.

Mittlere Zeit	Mittag h m 0 12	h m 2 12	h m 4 12	h m 6 12	h m 8 12	h m 10 12	h m 12 12	h m 14 12	h m 16 12	h m 18 12	h m 20 12	h m 22 12	Mittel
	′	′	′	′	′	′	′	′	′	′	′	′	′
Jan. 1841—42	4.10	5.20	3.96	2.52	0.87	0.68	1.01	1.62	1.66	1.71	0.91	0.29	2.04
Febr. 1841—42	3.55	5.28	4.22	2.89	1.59	0.94	0.84	1.26	0.81	0.82	0.60	0.35	1.76
März 1841—42	6.34	7.51	6.26	4.25	2.88	2.31	2.50	3.00	1.71	1.13	0.00	1.76	3.30
Apr. 1841 –42	6.56	8.33	6.42	4.41	3.22	1.97	2.24	1.35	0.73	0.46	0.00	2.18	3.15
Mai 1841—42	7.72	8.57	6.36	4.45	3.82	3.47	3.25	3.05	2.63	0.33	0.00	4.25	3.99
Juni 1841—42	8.55	9.47	8.00	5.33	4.91	4.24	4.05	4.32	3.44	0.63	0.00	4.53	4.79
Juli 1840—41	8.42	9.87	8.07	5.75	4.57	3.52	3.60	3.40	2.99	0.98	0.00	3.62	4.56
Aug. 1840—41	10.94	10.81	7.95	6.00	4.03	3.55	4.48	4.64	4.04	1.35	0.00	5.89	5.30
Sept. 1840—41	8.76	8.44	5.43	4.45	2.62	3.31	2.83	2.86	2.44	0.87	0.00	4.22	3.85
Oct. 1840—41	5.65	5.83	4.35	2.47	1.41	0.58	1.41	1.80	1.51	1.35	0.00	1.75	2.34
Nov. 1840—41	4.69	4.79	3.33	1.60	0.51	0.74	1.14	1.41	0.82	0.71	0.00	1.83	1.79
Dec. 1840—41	3.93	4.90	3.39	1.92	0.10	0.36	0.62	1.53	0.93	2.00	1.02	0.87	1.79

Temperatur.

Mittlere Zeit	Mittag h m 0 12	h m 2 12	h m 4 12	h m 6 12	h m 8 12	h m 10 12	h m 12 12	h m 14 12	h m 16 12	h m 18 12	h m 20 12	h m 22 12
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jan. 1841—42 .	38.28	40.83	40.18	36.68	35.47	34.24	32.37	32.10	31.71	30.53	31.63	36.96
Febr. 1841—42.	40.03	42.51	42.28	38.22	35.38	33.86	32.58	31.22	30.51	30.18	31.44	36.72
März 1841—42 .	51.39	53.61	53.28	49.96	46.20	44.37	42.48	41.26	40.06	39.87	42.28	48.06
Apr. 1841—42 .	57.68	59.81	60.20	57.21	52.18	49.12	47.91	46.91	46.12	46.49	49.93	54.02
Mai 1841—42 .	66.37	68.48	68.69	65.93	59.83	56.70	55.19	53.34	52.42	55.50	59.72	63.23
Juni 1841—42 .	79.32	81.85	82.75	76.89	72.29	68.70	66.83	66.04	65.07	68.26	73.63	77.37
Juli 1841.....	81.13	81.53	84.60	81.33	74.93	71.56	68.78	68.09	66.78	70.64	75.19	78.38
Aug. 1840—41 .	78.70	80.73	80.09	75.93	71.48	68.00	66.82	65.12	64.17	65.69	65.73	76.09
Sept. 1841	74.66	76.50	76.30	72.30	68.59	64.90	62.70	61.90	61.00	61.29	65.73	71.02
Oct. 1841	55.30	57.00	56.20	52.94	48.40	46.60	44.90	43.70	42.30	41.70	45.00	51.61
Nov. 1841	48.00	49.20	48.50	47.30	44.20	43.20	41.80	40.70	39.40	38.80	39.50	44.10
Dec. 1841	39.20	41.30	40.60	37.95	36.26	34.70	33.50	33.16	32.20	31.60	31.69	36.00

Athabasca-See. Länge 111° 18′ W. Breite 58° 41′ N. Mittlere Declination 28° E.

Tägliche Aenderung der Declination in den Monaten October, November, December 1843, und Januar und Februar 1844.

Wachsende Zahlen bedeuten eine Bewegung des südlichen oder oberen Endes des Magnets nach West.

Mittl. Zeit	h m 12 55	h m 13 55	h m 14 55	h m 15 55	h m 16 55	h m 17 55	h m 18 55	h m 19 55	h m 20 55	h m 21 55	h m 22 55	5 Minuten vor Mittag h m 23 55	h m 0 55	h m 1 55	h m 2 55	h m 3 55	h m 4 55	h m 5 55	h m 6 55	h m 7 55	h m 8 55	h m 9 55	h m 10 55	5 Minuten vor Mitternacht h m 11 55	Mittlere Zeit
1843. Oct. .	′1.13	′7.49	′6.23	′18.95	′21.32	′8.55	′13.35	′9.90	′10.72	′7.03	′2.29	′2.70	′0.00	′0.29	′0.02	′0.98	′0.49	′2.88	′1.88	′3.75	′3.47	′3.30	′8.42	′0.49	13 Beobachtungstage im Oct. 1843
Nov. .	3.73	5.17	6.74	9.07	10.35	10.80	9.40	8.80	7.63	6.54	1.10	0.00	1.06	1.57	1.93	2.73	2.94	3.34	4.52	4.97	5.43	7.08	3.04	3.63	25 Beobachtungstage im Nov. 1843
Dec. .	3.04	6.16	5.57	5.65	9.23	7.61	9.78	6.73	6.58	5.33	1.94	0.55	0.03	0.00	0.83	2.37	2.63	3.81	4.18	3.57	4.35	7.19	4.05	6.05	25 Beobachtungstage im Dec. 1843
1844. Jan. .	5.69	8.48	6.97	12.57	16.29	10.05	9.97	10.02	9.96	7.95	4.99	2.10	0.39	0.00	2.75	1.67	2.47	3.63	4.72	5.15	5.44	3.97	6.71	2.18	25 Beobachtungstage im Jan. 1844
Febr.	4.27	4.93	8.46	10.55	14.80	14.87	14.06	12.10	12.76	8.64	2.82	2.93	1.55	0.00	1.48	3.24	3.76	4.52	4.96	5.48	5.58	4.99	6.98	5.40	25 Beobachtungstage im Febr. 1844

Fort Simpson. — Länge 121° 30′ W. Breite 61° 52′ N.

Tägliche Aenderung der Declination in den Monaten April und Mai 1844.

Wachsende Zahlen bedeuten eine Bewegung des südlichen oder oberen Endes des Magnets nach West.

Mittl. Zeit	15 Min. nach Mitternacht h m 12 15	h m 13 15	h m 14 15	h m 15 15	h m 16 15	h m 17 15	h m 18 15	h m 19 15	h m 20 15	h m 21 15	h m 22 15	h m 23 15	15 Min. nach Mittag h m 0 15	h m 1 15	h m 2 15	h m 3 15	h m 4 15	h m 5 15	h m 6 15	h m 7 15	h m 8 15	h m 9 15	h m 10 15	h m 11 15	Mittlere Zeit
1844. April	′5.82	′6.03	′17.45	′25.16	′22.90	′36.80	′36.26	′37.60	′30.14	′25.27	′18.77	′8.27	′5.72	′2.16	′0.00	′1.37	′1.23	′0.43	′0.30	′4.04	′4.62	′1.26	′2.86	′5.55	20 Beobachtungstage im April 1844
Mai .	1.56	7.77	11.71	15.63	17.19	23.73	28.22	32.69	29.80	20.29	15.51	9.49	4.74	3.75	0.70	0.75	0.80	0.00	0.19	1.90	6.72	3.51	2.29	1.67	18 Beobachtungstage im Mai 1844

SIEBENUNDZWANZIGSTE REIHE.[1])

§ 33. Ueber atmosphärischen Magnetismus (Fortsetzung).

Eingegangen am 19. November, — Gelesen am 28. November 1850.

II. Experimentelle Untersuchung der Gesetze der magnetischen Wirkung der Atmosphäre und deren Anwendung auf besondere Fälle.

2969. In der Meinung, dass das Experiment für die Entwickelung der allgemeinen Principien des atmosphärischen Magnetismus von grosser Bedeutung sein und rasch eine Masse von Thatsachen zu Tage fördern könne, auf welche die Physiker weiter zu bauen vermöchten, bemühte ich mich Mittel aufzufinden, um die Wirkung der durch die Sonne erwärmten Atmosphäre auf die erdmagnetischen Curven thatsächlich darzustellen. Meine Absicht war, eine centrale Kraftanordnung zu gewinnen derart, dass die Curven oder Linien hierdurch abgelenkt würden, wie sie in einem diamagnetischen Leiter oder einer erwärmten Luftkugel (2877) abgelenkt werden, und dann das durch ein derartiges Arrangement erhaltene Resultat als ein partielles Prüfungsmittel auf die mannigfachen von den verschiedenen magnetischen Observatorien gelieferten Beispiele anzuwenden. Zunächst versuchte ich dies der Bequemlichkeit halber mittelst eines Hufeisenmagnets zu erreichen, indem ich die von Pol zu Pol gehenden Linien dazu benutzte, den Erdmagnetismus zu stören und wiederherzustellen; allein die relative Schwäche der erdmagnetischen Kraft in der Nähe des Magnets und das starke Hervorragen der Pole des letzteren hatte mancherlei Unzuträglichkeiten im Gefolge, die mich bald veranlassten, dieses Verfahren fallen zu lassen und zu einer ringförmigen Spirale mit einem Volta'schen Apparate meine Zuflucht zu nehmen. Die Neuheit der Anwendung, die von dieser Spirale gemacht wurde, das Interesse der Resultate und die daraus zu gewinnenden Aufschlüsse werden mich entschuldigen, wenn ich in der Beschreibung ihrer Einrichtung und Wirkung etwas elementar bin.

---

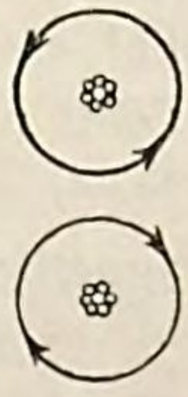
[1]) Philosophical Transactions, 1851, p. 85.

2970. Die Spirale bestand aus etwa 12 Fuss umsponnenen Kupferdrahts, der in etwa fünfundzwanzig Windungen zu einem Ringe von $1^1/_2$ Zoll äusserem Durchmesser gewickelt wurde. Die Enden der Drähte waren um einander zusammengedreht, um jeden möglichen magnetischen Effect derselben zu neutralisiren, und waren lang genug, um mit einer Volta'schen Batterie verbunden zu werden und doch der Spirale freie Bewegung zu gestatten. Wie viel magnetische Kraft in der Spirale erforderlich war, mag nach folgender Betrachtung beurtheilt werden. Denken wir uns eine frei aufgehängte Declinationsnadel und in einiger Entfernung die *Spirale* mit ihrer Axe in der Verlängerung der Nadel aufgestellt und ihr die Seite zuwendend, welche bei geringerer Entfernung Abstossung bewirkt, so wird die Nadel mit einer gewissen Kraft in Richtung des magnetischen Meridians pointiren; bei Annäherung der Spirale aber wird sie mit geringerer Kraft pointiren und bei einem gewissen Abstande wird sie nicht mehr im magnetischen Meridian einstehen, sondern nach der einen oder anderen Seite abweichen. Es giebt einen Abstand, bei welchem die Nadel sich im magnetischen Meridian in labilem Gleichgewichte befindet, jenseits dessen aber ihre Gleichgewichtslage eine stabile ist; dieser Abstand variirt mit der Stärke des elektrischen Stromes. Die Kraft der Spirale muss nun derart sein, dass, wenn ihre Axe in der Verlängerung der Nadel liegt, diese sich im Meridian im stabilen Gleichgewichte befindet. Ein Plattenpaar reicht aus, um der Spirale eine für Abstände von 4 bis 24 Zoll erforderliche magnetisirende Kraft zu ertheilen. Bei geeigneter Anordnung der Nadel und eines Magnets oder einer Spirale in nördlicher oder südlicher Richtung in der oben angegebenen Weise dreht sich das dem Magnet oder der Spirale nähere Ende nach Ost, wenn erstere nach West bewegt werden und umgekehrt.

2971. Wie bekannt, hat eine solche Spirale ein System von magnetischen Linien, welches durch ihre Axe geht, sich dann nach aussen biegt, um die Aussenseite herum geht und wieder in die Axe eintritt, so dass die kreisförmigen magnetischen Kraftlinien überall senkrecht sind zu dem die Windungen der Spirale durchlaufenden elektrischen Strom. Hiermit hatte ich in jedem Augenblick eine Quelle von magnetischen Kraftlinien genau von der gewünschten Art zur Verfügung, um im Verein mit denen der Erde eine entweder mit der paramagnetischen oder der diamagnetischen Polarisation (2865, 2877) zusammenfallende Vertheilung der Kräfte herzustellen.

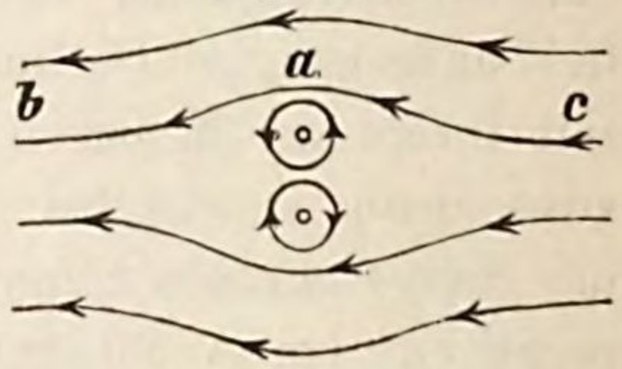
2972. Denn es sei Fig. 17 ein Durchschnitt der ringförmigen Spirale parallel zu seiner Axe, so werden die beiden Kreise die Vertheilung der magnetischen Kraft in diesem Durchschnitt darstellen, und die Pfeile geben die Richtung an, welche den von dem Nordende eines Magnets ausgehenden magnetischen Kraftlinien zugehört. Wenn ein solches System plötzlich inmitten der erdmagnetischen Linien erzeugt wird, so wirkt es auf dieselben ein je nach der Lage der Spirale zur Richtung der Erd-

Fig. 17.



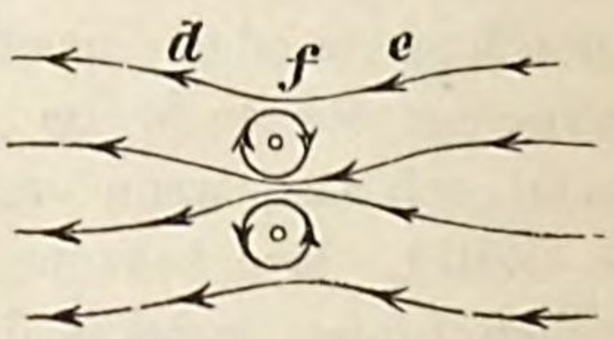
kraft. Wählen wir die beiden Lagen, in denen die Axe der Spirale parallel ist zur natürlichen Richtung der Kraft, wie sie eine freie Nadel an der Beobachtungsstelle zeigt, so werden zwei entgegengesetzte Wirkungen ausgeübt, welche in Bezug auf die äusseren Linien des Systems der Spirale der Polarität von magnetischen und diamagnetischen Leitern entsprechen. Wenn beispielsweise die Spirale so aufgestellt ist, dass die Polarität ihrer ausserhalb und in der Ebene des Ringes liegenden magnetischen Linien mit der der erdmagnetischen Kraft übereinstimmt, wie in Fig. 18, dann werden die erdmagnetischen Linien in der dargestellten Weise abgelenkt und eine in *a* befindliche Nadel, die ihre Lage unter dem Einfluss des Erdmagnetismus eingenommen hat, wird bei der Annäherung der Spirale ihre Lage nicht ändern, obwohl sie eine stärkere Einwirkung von dieser erleidet. In anderen Punkten der Linie *b a c* wird sie ihre Lage ändern, sich tangential zur Curve stellen und somit wird sie, wenn sie längs der Linie (oder durch die benachbarten Linien) fortgeführt wird, nicht parallel mit sich selbst bleiben, wie es ohne Anwesenheit der Spirale der Fall wäre, sondern bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne abgelenkt werden.

Fig. 18.



2973. Wird andererseits die Spirale in die zweite Lage (2972) gebracht, so wird der Effect auf die Richtung der nachbarlichen Kraftlinien der in Fig. 19 dargestellte sein. Bei *d* und *e* würden die Nadeln wiederum aus ihrer ihnen durch die Erde ertheilten natürlichen Lage abgelenkt werden, aber in entgegengesetztem Sinne wie in entsprechenden Lagen bei der früheren Anordnung. Dieser in der Figur dargestellte Zustand der Dinge repräsentirt die paramagnetische Vertheilung der Kräfte, wie der frühere die diamagnetische.

Fig. 19.



2974. Ich behaupte nicht, dass die Gesammtheit dieser Kraftanordnungen denen bei paramagnetischen und diamagnetischen Leitern gleich sei. Hier sind unabhängige Systeme mitten in die erdmagnetische Kraft eingeführt, und der centrale Theil jeder Anordnung muss daher ausgenommen werden; auch giebt es innen Anziehungen und aussen Abstossungen, wenn die Nadel sich bei *a* und *f* befindet, was im Falle einer blossen magnetischen Leitung nicht stattfindet. Aber ausserhalb dieser Spiralsysteme in Abständen von 2 Zoll bis 2 oder 3 Fuss ist die den erdmagnetischen Kraftlinien ertheilte Anordnung in Uebereinstimmung mit der durch diamagnetische und paramagnetische Leiter bewirkte. Die hier veränderten Kraftlinien und die in dem grossen Magnetfelde der Natur durch die Sonne und die Atmosphäre verzogenen lassen sich in ihrer Richtung miteinander vergleichen, und die einen können als Repräsentanten der anderen angesehen werden.

2975. Um ein einfaches Resultat der Wirkung eines solchen Kraftcentrums auf die erdmagnetischen Linien zu erhalten, befestigte ich einen Stab in Richtung der Inclinationsnadel und am Fusse desselben eine ebene Tafel parallel zum magnetischen Aequator von London. Dann hängte ich einen kleinen, einen halben Zoll langen Magnet an einem Coconfaden so auf, dass er dem magnetischen Aequator parallel und der ebenen Tafel am Fusse des die Inclination vorstellenden Stabes nahe war. Die Ringspirale (2970) wurde dann so mit dem Volta'schen Plattenpaar verbunden, dass die Schliessung jeden Augenblick bewirkt werden konnte, und sie stets mit sich selbst und der Ebene des magnetischen Aequators parallel der Nadel von allen Seiten, von oben oder unten, genähert und ihre Wirkung auf dieselbe beobachtet werden konnte. Da die Wirkung der Sonne nachgeahmt werden sollte, so wurde der Strom so durch die Spirale gesandt, dass die obere Seite derselben das Nordende einer Magnetnadel abgestossen haben würde; denn in diesem Falle würde ein Magnet ausserhalb und in der Ebene des Ringes kein Bestreben haben, seine Lage zu ändern, und die Vertheilung der erdmagnetischen Kräfte unter dem Einfluss der Spirale war wie in Fig. 18 oder wie bei einem diamagnetischen Leiter.

2976. Bei Versuchen dieser Art, und insbesondere wenn die Ringspirale absichtlich in beträchtlicher Entfernung von der Nadel gehalten wird, ist es besser, die Spirale nicht dauernd mit der Batterie zu verbinden, um sie gegen die Nadel hin und an ihr vorbei zu führen, sondern vielmehr die Spirale erst an den Ort zu bringen, wo man ihre Wirkung beobachten will, und dann die Batterie zu schliessen. So lässt sich die Bewegung der Nadel und ihre Richtung leicht beobachten, und sollte sie wegen der Entfernung schwach sein, so lässt sie sich dadurch, dass man die Batterie einigemal isochron mit den Schwingungen der Nadel schliesst und öffnet, auf jeden erforderlichen Grad bringen.

2977. Es giebt gewisse Lagen in Beziehung auf die Nadel als Centrum, die man klar verstehen muss. Die magnetische Axe ist eine Linie, die durch den Mittelpunkt der freien regulären Nadel geht, parallel zur Richtung der erdmagnetischen Kraftlinien, wie diese auch an dem Beobachtungsorte beschaffen sein mögen. Die Ebene des magnetischen Aequators ist eine Ebene, die durch den Mittelpunkt der Nadel, senkrecht zur magnetischen Axe geht. Die Ebene des magnetischen Meridians ist die Ebene, welche mit der magnetischen Axe und auch mit der Richtung, nach welcher die Declinationsnadel weist, zusammenfällt. Diese Lage haben in Folge der Art der Aufhängung die zur Beobachtung angewandten Magnete immer; eine Nadel, die senkrecht zu ihrer mechanischen, mit der magnetischen zusammenfallenden Axe gestellt wäre, würde sie nicht einnehmen.

2978. Wenn die Ringspirale bei der früher angegebenen Lage (2975) sich irgendwo in der Ebene des *magnetischen Meridians* befand, so übte sie keine ablenkende Wirkung auf die Declinationsnadel aus; ebensowenig

änderte sie die Richtung der Nadel, wenn sie sich irgendwo in der Ebene des magnetischen Aequators befand. Dies sind die einzigen Lagen, in denen die Spirale keinen Einfluss auf die Lage der Nadel ausübte.

2979. Diese beiden Ebenen ohne Aenderung theilen den Raum rings um den Magnet in vier Quadranten, und wenn die Spirale sich in einem derselben befindet, so lenkt sie die Nadel von ihrer Richtung ab. Die Ablenkung der Kraftlinie für zwei benachbarte Quadranten hat entgegengesetzte Richtung, so dass, wenn die Spirale aus der neutralen Linie in den einen oder anderen Quadranten übergeht, die Richtung der Nadel sich ändert.

2980. Wird die Spirale von ihrer Lage über oder unter dem magnetischen Aequator um die magnetische Axe, also in einem Breitenkreise herumgeführt, dann macht die Nadel während dieses Umganges *eine* weite Oscillation nach rechts und eine nach links. Gesetzt, die Spirale sei zu Anfang des Versuches oberhalb des Aequators und in der Ebene des magnetischen Meridians nördlich von der Nadel und sie gehe nun durch West nach Süd und durch Ost zurück in ihre ursprüngliche Lage, so wird das Nordende der Nadel zuerst nach West gehen, dann still stehen und nach Ost zurückkehren, die Mittellage durchschreiten und endlich nach West gehen, um seine ursprüngliche Lage wieder einzunehmen. So lange die Spirale sich im magnetischen Osten der Nadel befindet, wird die von ihr bewirkte Ablenkung dieselbe bleiben und ebenso auch so lange sie sich auf der Westseite befindet; die Ablenkung wird grösser oder kleiner sein, aber die Richtung in Bezug zu der neutralen Stelle wird sich nicht ändern. Die Lage der Spirale nördlich oder südlich von der Nadel hat, vorausgesetzt dass sie auf derselben Seite des magnetischen Meridians bleibt, keinen Einfluss auf die Richtung der Ablenkung, aber wohl auf die Grösse derselben. Befindet sich die Spirale unter dem magnetischen Aequator, so ist die Richtung der Declination umgekehrt, aber diese ändert sich dann nicht, so lange die Spirale östlich oder westlich von der Nadel und der Ebene ihrer mittleren Declination bleibt.

2981. Führen wir die Spirale um die Nadel herum in einer zu den Ebenen des magnetischen Aequators und des Meridians senkrechten Ebene, so dass sie die vier Quadranten der Reihe nach durchschreitet, so macht die Nadel während dieses Umganges (nicht eine, sondern) *zwei* ganze Schwingungen. Wenn also die Spirale sich zu Anfang in der neutralen Lage oberhalb der Nadel befindet, durch West nach unten und an der Ostseite wieder herauf zu ihrer ursprünglichen Lage zurückkehrt, so weicht das Nordende erst nach West aus, geht dann nach Ost, nach West, wiederum nach Ost und kehrt endlich westwärts in seine ursprüngliche oder neutrale Lage zurück.

2982. So wie die Spirale aus den neutralen Ebenen (2978) in einen der Quadranten übergeführt wird, beginnt die ablenkende Wirkung auf die

Nadel und wächst beständig vom Umfang des Quadranten ab, bis sie in der Mitte ihr Maximum erreicht. Die grösste östliche oder westliche Ablenkung findet also statt, wenn die Spirale sich in der Mitte eines der Quadranten befindet. Wenn demnach die Spirale von der Mitte eines Quadranten bis zur Mitte des nächsten geführt wird, so macht die Nadel nur *eine Bewegung*, z. B. einen verstärkten Ausschlag nach West, obwohl sich die Richtung der Declination in Beziehung zu der Mittellage während dieser Zeit umgekehrt hat, und es einen Moment gab, wo die Nadel keine Extradeclination besass, sondern sich *in* der Mittellage befand. So wird auch, wenn die Spirale über einem Quadranten von einer neutralen Ebene zur anderen geführt wird, die Nadel, obschon die hierdurch hervorgerufene Ablenkung derselben ihre Richtung nicht geändert hat, sondern während der ganzen Zeit beispielsweise eine westliche geblieben ist, dennoch zwei Bewegungen ausgeführt haben, indem sie zuerst während des Anwachsens der Kraft westlich und darauf während der Abnahme östlich geht. Die Nadel macht also, während die Spirale sie in einer Ost-West-Verticalebene umkreist (2981), zwar *vier* Ausschläge, von der neutralen oder mittleren Lage fort und zu ihr zurück, vollführt aber nur zwei vollständige Hin- und Hergänge.

2983. Die Grösse der Ablenkung nimmt ab, wenn die Entfernung der Spirale von der Nadel wächst, und umgekehrt.

2984. Zwei andere Nadeln wurden sehr schief gegen die magnetische Axe aufgehängt (2975), die eine mit ihrem Nordende nach oben, die andere mit ihrem Nordende nach unten, und der Einwirkung der Spirale wie die vorige ausgesetzt (2978). Sie erlitten genau dieselbe Einwirkung, d. h. ein bestimmtes Ende bewegte sich bei derselben Lagenänderung der Spirale stets in demselben Sinne. Bei grosser Nähe der Spirale erlitt in gewissen Lagen der eine Pol eine etwas stärkere Einwirkung als der andere; aber bei grösserem Abstande verschwand dieser Unterschied (der sich übrigens leicht erklären lässt (2970)), und die Resultate waren rein. Ob die Spirale sich über oder unter der Verlängerung der Nadel befand, machte *keinen Unterschied*, wenn nur ihre Lage in Bezug auf den magnetischen Aequator der durch die Nadel gehenden erdmagnetischen Kraftlinien dieselbe war.

2985. Um die Natur der Wirkung einer solchen Spirale in der gegebenen oder diamagnetischen Lage (2975) auf die *Inclination* zu ermitteln, wurde eine kleine Inclinationsnadel, die sich in der durch den magnetischen Meridian von London gehenden Ebene bewegen konnte, ihrem Einfluss ausgesetzt. Die Resultate waren folgende.

2986. Befand sich die Spirale in der Ebene des magnetischen Aequators oder in einer zu der die mechanische Axe der Nadel in sich aufnehmenden senkrechten Ebene, so wurde die Nadel nicht abgelenkt. In jeder anderen Lage wurde diese von der ersteren beeinflusst, so dass diese beiden Ebenen die Wirkungssphäre wie im vorigen Falle in vier Segmente theilte.

2987. Ebenso wie vorher ändert sich auch der Sinn der Ablenkung der Nadel (2982), wenn die Spirale von einem Quadranten zu einem anderen übergeht. Befindet sich die Spirale in dem oberen nördlichen Segment oder dem unteren südlichen Segment, so wird das obere oder südliche Ende der Nadel nach Süd abgelenkt, und nach Nord, wenn die Spirale sich in dem oberen südlichen oder dem unteren nördlichen Segment befindet. Wird die Spirale in Richtung der Bewegungsebene, welche in diesem Falle diejenige des magnetischen Meridians ist, um die Nadel herumgeführt, so weicht das Nadelende von einer mittleren oder unbeeinflussten Lage erst in der einen Richtung ab, beispielsweise nach Nord und dann nach Süd, dann wieder nach Nord und Süd und schliesslich wieder nach Nord, um ihre Ruhelage wieder einzunehmen, so dass es auch hier, wie bei der Declinationsnadel (2982) in jeder Richtung zwei extreme Ablenkungen des Nadelendes giebt.

2988. Mit anderen Worten, wenn die Spirale sich irgendwo unter dem magnetischen Aequator befand, so suchte das *untere* oder nördliche Ende der Nadel auswärts oder nach der Aussenseite derselben zu weisen, wie wenn sie von der Axe der Spirale *abgestossen*, aber von den äusseren gekrümmten Kraftlinien *angezogen* würde, Fig. 20 (2992). War andererseits die Spirale oberhalb des Aequators, so ging das *obere* oder südliche Ende auswärts von derselben und bewegte sich dabei in Bezug auf die Spirale genau in demselben Sinne wie früher der untere Pol.

2989. Der Fuss der Nadel wurde um 90^0 gedreht, hierdurch also auch die Ebene, in welcher die Nadel sich bewegen konnte, um 90^0 aus dem magnetischen Meridian. Hierdurch wurde auch die Ebene, in der keine Einwirkung auf die Nadel stattfand, um 90^0 gedreht, so dass sie nun mit dem magnetischen Meridian zusammenfiel, während die vorher neutrale Ost-West-Ebene nun nicht mehr eine Ebene ohne Wirkung war, sondern durch die Orte stärkster Wirkung in der Mitte der Segmente ging.

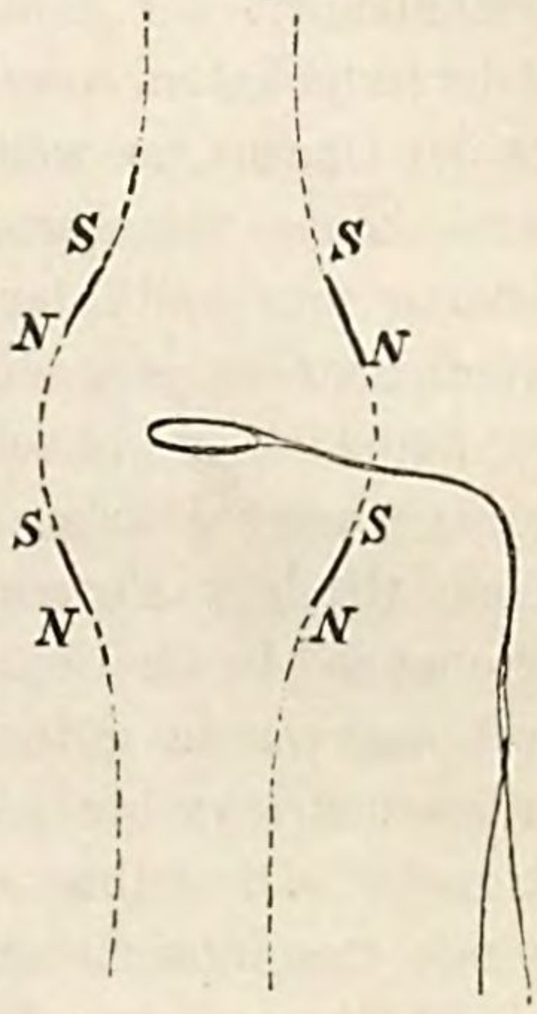
2990. Ebenso wenig wie bei der *Declination* ist es hier bei der *Inclination* die von der Nadel eingenommene Richtung, was die Einwirkung der Spirale auf sie bestimmt — denn sie kann belastet oder sonst einem Zwange unterworfen werden, gleich allen horizontalen Nadeln —, sondern es ist die *Richtung* der Kraftlinien der Nadel, welche im Verein mit der Spirale Alles beherrschen. Es ist gleichgültig, ob die Spirale sich oberhalb oder unterhalb der Verlängerung der Nadel befindet; so lange sie an derselben Seite der Kraftlinie bleibt, unter deren Einfluss die Nadel wirkt, bewegt sich das Ende der letzteren in derselben Richtung, obwohl es in dem einen Falle zu der Spirale hin und in dem anderen von ihr fort geht.

2991. Ich hängte eine Nadel so auf, dass sie sich in jeder Richtung frei bewegen konnte, und erhielt nun den einfachen natürlichen Effect der Spirale oder einer diamagnetischen Kugel (2877) auf eine gegebene Kraftlinie, und es ist gut, sich dies gegenwärtig zu halten. Denn wiewohl wir

zum Zwecke praktischer Beobachtung genöthigt sind, die Lage in zwei Theile zu zerlegen, in Declination und Inclination, so lassen sich doch die Resultate in jedem Falle besser vergleichen und vergegenwärtigen, wenn man das einfache Gesetz der Aenderung in der ganzen Kraftlinie im Kopfe hat. Die Aequatorialebene und die magnetische Axe sind nun die einzigen Stellen, in denen die Spirale sich befinden kann, ohne die Lage der Nadel zu ändern. Die erstere giebt (für die Spirale) die Stellen, wo die Nadel eine stabile Lage hat, die letztere, je nach dem Abstande der Spirale, stabile oder instabile Lagen.

2992. Befindet sich die Spirale ausserhalb der Ebene und Axe, so geht das ihr nächste Ende der Nadel fort von ihr, wie wenn es abgestossen würde. Wird die Spirale in einem Breitenkreise herumgeführt, so bewegt sich das Ende der Nadel vor ihr herum, gerade wie das obere Ende der Nadeln zu Hobarton und Toronto in Bezug auf die Sonne während der Mittagsstunden. Anstatt die Spirale um die Nadel herumzuführen, können wir die Nadel in verschiedene Lagen zur Spirale bringen, und dann wird Fig. 20 das Resultat darstellen. Es ist äusserst einfach und steht in völligem Einklang mit der diamagnetischen Vertheilung der durch die Spirale hervorgerufenen Kräfte (2972), wie die beiden punktirten Linien andeuten.

Fig. 20.



2993. Man kann die Thatsachen, um sie zur Erklärung und Veranschaulichung der Naturphänomene anzuwenden, so ausdrücken, dass man hinsichtlich der *Declination* sagt, dass, wenn die Spirale sich über der Nadel in einer Ebene mit Neigung, also über ihrem magnetischen Aequator, östlich von einer Nadel mit nördlicher Neigung befindet, sie das südliche oder obere Ende derselben nach West, und wenn sie östlich von einer Nadel mit südlicher Neigung (also sie selbst eine umgekehrte Lage hat (2972)) liegt, das nördliche oder obere Ende nach West treiben wird; es wird also den Anschein haben, dass sie das ihr nächste Ende der freien Nadel oder den ihr nächsten Theil der Kraftlinie abstösst. In Bezug auf die *Inclination* kann man sagen, dass die Spirale, wenn sie sich über der Nadel befindet, das obere Ende derselben oder der Kraftlinie von sich fortzutreiben sucht. Befindet sich die Spirale nördlich von der magnetischen Axe, so sucht sie das obere Ende der Nadel nach Süd, und wenn sie südlich von derselben liegt, nach Nord zu treiben. Wie bei der Declination hat es den Anschein, als würde das nächste Ende der freien Nadel oder die nächste Kraftlinie abgestossen. In der That lassen sich alle Fälle dahin zusammenfassen, dass, wenn die Spirale diamagnetisch (2975) für eine freie Nadel ajustirt ist, gleichviel ob sie sich über oder unter, auf dieser oder jener Seite der

Nadel befindet, das nächste Ende der Nadel gleichsam abgestossen wird, vorausgesetzt dass die Lage der Spirale nicht eine neutrale sei.

2994. Ich wiederholte alle diese Versuche mit der umgekehrten Spirale, um den Effect einer paramagnetischen Luftkugel (2865, 2973) zu bekommen. Ich brauche nur zu sagen, dass die Erscheinungen der Natur und Ordnung nach ganz dieselben, der Richtung nach aber *umgekehrt* waren. Wir werden sie bei der Entwickelung der von der Abkühlung der Atmosphäre bedingten Vorgänge während der Nacht und am frühen Morgen brauchen (3003, 3010).

2995. Um die Gesetze der Ablenkung in ihrer Einfachheit in die Erscheinung treten zu lassen, war die Nadel bei diesen Versuchen in der Luft aufgehängt und die Sonnenwirkung rings herum in allen Richtungen dargestellt. Allein in der Natur befindet sich die Luft bloss über der Nadel, und die Erde als Magnet unter ihr. In der Natur ist es auch die Gebundenheit der Linien in der Erde (2919), wodurch sie unter der Oberfläche festgehalten werden, und welche bewirkt, dass der Betrag der Ablenkung *an* der Oberfläche weit grösser ist, als er sein würde, wenn sie sich in der Erde ebenso frei bewegen könnten als darüber im Raume.[1]) Diese Ablenkung muss mit der von der Spirale allein hervorgerufenen zusammenfallen, aber es war doch wichtig, dies nachzuweisen. Ich hängte daher die Nadel über verschiedenen Stellen eines 30 Zoll langen Magnetstabes von geringer Stärke auf, um so nördliche oder südliche Inclination in jedem Grade nachzuahmen, oder auch in der Nähe der mittleren Theile Orte ohne Inclination zu haben. Auch der Umstand, dass unten keine Luft sei, war in gewissem Grade nachgeahmt, und um dies noch auffälliger zu machen, brachte ich zuweilen Eisenmassen an und unter die Mitte des Magnets. Dies übte einen bedeutenden Einfluss auf die Wirkungen der Spirale aus hinsichtlich der *Grösse* der Ablenkung, aber nicht hinsichtlich der Richtung. Der Einfluss der Spirale auf die Richtung der Nadel stand im Einklang mit den obigen Gesetzen.

2996. Bei der Betrachtung der Erscheinungen in der Natur ist die magnetische Axe, sowie die Ebenen des magnetischen Aequators und Meridians, als Kreise oder Ebenen ohne Ablenkung, von grosser Wichtigkeit. Da sie mit jeder Aenderung des Ortes oder der Declination oder Inclination selbst andere sind, so braucht man ein bequemes Mittel zur Veranschaulichung, und ihre Wirkungen können ohne ein Modell kaum begriffen werden. Ich habe mir einen Globus verfertigt, auf dem ich die Lage der Obser-

---

[1]) Mit Hülfe der als Typus genommenen Kugel kalter Luft (2874) erkennt man, dass, wenn der Raum unter den horizontalen Linien *a, c* etc. von einer die Linien festhaltenden Substanz erfüllt wäre, die nun an den unteren Theilen dargestellten Ablenkungen über den festhaltenden Flächen auftreten würden und in viel stärkerem Maasse, obschon sie sich in einen viel kleineren Raum nach unten hin erstrecken würden.

vatorien verzeichnete und die magnetischen Meridiane derselben nach der letzten Bestimmung zog. Mit anderer Farbe zeichnete ich für jeden Ort den magnetischen Aequator als grössten Kreis parallel der Aequatorialebene der Inclinationsnadel dieses Ortes. Auch den mittleren Gang der Sonne habe ich für jeden Monat auf dem Globus verzeichnet; verstellbare Nadeln dienen mir zur Angabe der Vor- und Nachmittagsstunden für jeden Ort, und so habe ich die Mittel, um mit hinlänglicher Genauigkeit und besser, als eine Zeichnung oder Figur anzugeben vermöchte, zu erkennen, wann die Sonne sich in einem bestimmten Quadranten oder in welchem Theile desselben sie sich befindet, wann sie eine neutrale Linie durchschreitet und welche Lage sie in Bezug auf den Beobachtungsort hat. Ich pflege den Globus, den ich sehr nützlich fand, stets in einer bestimmten Lage aufzustellen, nämlich mit der Rotationsaxe horizontal, dem Nordpol zu meiner Rechten und dem astronomischen Meridian des Beobachtungsortes gegen den Zenith. Der Beobachter kann ihn dann als vom Orte des Sonnenaufganges her betrachten.

2997. Obwohl wir somit die experimentellen Bedingungen haben, unter denen sich eine Nadel befindet, die einer Wirkung ausgesetzt ist, welche in der Natur der aus der Gegenwart der Sonne resultirenden (2920) entspricht, so behaupte ich doch nicht, dass sie ohne Weiteres auf die Erscheinungen in der Natur angewandt werden können, sondern dass sie beim Studium der letzteren und zur gründlichen Erklärung der Vorgänge einen sehr wichtigen Dienst leisten. Die Atmosphäre ist nicht unbegrenzt, sondern hüllt wie ein Gewand die Erde ein; ihre Wirkung muss, indem sie sich vom Entstehungsorte ausbreitet, in Bezug auf den Theil, der durch ihre Masse geht (2920), in krummer Linie mit ihrer Krümmung fortschreiten und so für jeden bestimmten Ort ein Resultat geben, das nur durch feine, auf sorgfältige Beobachtungen gestützte Rechnungen genau ermittelt werden kann. Was die Klarlegung der Luftwirkung betrifft, so würde es, glaube ich, sehr interessant sein, wenn auch nur in roher Weise die täglichen Variationen eines Magnets am Boden, in der Mitte und an der Mündung eines tiefen Schachtes zu ermitteln. Die Resultate dürften uns über die festhaltende Kraft der Erde und die Tiefe, bis zu welcher die Ablenkungen der magnetischen Kraftlinien eindringen, reichen Aufschluss geben und uns sogar eine rohe Vorstellung liefern von den Aenderungen (oder Nichtveränderungen) der inneren Kraft, losgelöst von denen, die von der Atmosphäre herrühren.

2998. Ein anderer Grund, wesshalb die experimentellen Resultate keine zu enge Anwendung gestatten, ist folgender. Wenn die erdmagnetischen Kraftlinien vollkommen regelmässig wären, so würden es auch die von der Sonne und der Luft hervorgerufenen Aenderungen derselben sein. Allein das natürliche System ist nicht regelmässig, weder unter den Tropen, wie zu Sister's Walk und Longford in St. Helena, noch in höheren Breiten, wie

an der Hudsons-Bay, und daraus können und müssen scheinbare Widersprüche entstehen. Wahrscheinlich kommen die grössten Unregelmässigkeiten in der Vertheilung des Erdmagnetismus in und nahe bei der Erdoberfläche vor, während nach oben hin Alles regelmässiger zu werden sucht. Dennoch muss sich der Einfluss der Unregelmässigkeiten sehr weit nach oben hin geltend machen, so dass die Verzerrungen der magnetischen Meridiane oder Kraftlinien in dem mit dem Orte des atmosphärischen Effects zusammenfallenden Gebiete wahrscheinlich nicht getilgt oder erheblich vermindert sind.

2999. Allein wiewohl die Linien in dem weiten von der Sonne beeinflussten Raum unregelmässig sind, so wird doch das Resultat eine Ausbreitung des Ganzen als eines Systems und eine diamagnetische Polarität sein. Die unteren Kraftlinien werden von den oberen afficirt werden, und obschon man eine vollkommene Aehnlichkeit zwischen verschiedenen Orten nicht erwarten kann, so wird dennoch die Art der Aenderung an der Erdoberfläche wahrscheinlich nicht so unsicher sein, als es beim ersten Anblick scheint. Daher wird man, glaube ich, den Globus (2996) sehr nützlich finden, um Aufschluss zu erlangen über die wahrscheinlichen Wirkungen in dem magnetischen Meridian und Aequator, die von der Stellung der Sonne in den beiden Hauptquadranten für jeden Monat des Jahres oder jede Stunde des Tages bedingt sind.

3000. Der Durchgang durch den magnetischen Meridian ist wichtig und scheint es nach dem (2978) beschriebenen Versuch mehr als früher (2942) zu sein. Da er sehr oft gegen den astronomischen Meridian geneigt ist, so muss er einen grossen Einfluss haben auf die Zeit, zu der die tägliche Declination ihre Richtung ändert. Der Ort der stärksten Wirkung und seine Wanderung nach Nord oder Süd längs einer magnetischen Kraftlinie, je nachdem die Declination in Bezug auf die die Sonne repräsentirende Spirale westlich oder östlich war, ist durch den Versuch bestätigt worden; ebenso auch die weitere Beobachtung (eine Folge der früheren), dass, bei gleichem Abstande der Sonne von einem nördlich oder südlich von ihr gelegenen Orte, ihre Wirkung an der Seite, wo ihre Bahn mit der Declinationsrichtung einen spitzen Winkel macht, weit stärker ist als an der anderen Seite, wo dieser Winkel ein stumpfer ist. Wenn also die Spirale von Ost nach West an einem nördlich von ihr gelegenen Orte mit westlicher Declination vorbeigeführt wurde, so war ihre Wirkung bei gleichem Abstand von dem Magnet auf der Westseite des Ortes stärker als auf der Ostseite.

3001. Der Durchgang der Sonne durch den magnetischen Aequator ist ebenfalls wichtig, weil dann die Richtung der täglichen Variation der Nadel geändert wird, und dies ist von um so grösserer Folge, als bei der beträchtlichen Grösse der Declination an vielen, selbst sehr nördlichen und südlichen Orten dieser Durchgang entweder an der östlichen oder westlichen Seite gegen den astronomischen Meridian hin gerichtet ist und während der

einflussreicheren Stunden der Sonne oder der Kälte stattfindet. An all den Orten überdies, wo die Inclination gering ist, wie zu St. Helena, und in oder nahe bei der Sonnenbahn kann er einen erheblichen Einfluss auf die Grösse der Wirkung haben. Da die Sonne zwischen den Wendekreisen ihren Ort ändert, und die Inclination und Declination an den verschiedenen Orten sehr verschieden ist, muss der Durchgang der Sonne und wirksamen Region durch die neutralen Ebenen unter einer ausserordentlichen Mannigfaltigkeit von Bedingungen erfolgen, zu deren Entwirrung derartige Kenntnisse, wie sie durch die vorstehenden Versuche und Principien geliefert werden, meiner Meinung nach viel beitragen werden. Der astronomische Ort der Sonne kann nördlich oder südlich von der Nadel sein, ohne dass die Declination derselben ihre Richtung ändert (2980), oder wo eine starke mittlere Declination ist, wie zu Greenwich, kann die Sonne östlich oder westlich davon stehen, ohne dass die Declination ihre Richtung ändert. Die Sonne kann südlich von einem Orte stehen und doch das obere Ende weiter nach Süd treiben (2990); denn alles hängt von ihrer Stellung zum magnetischen Meridian und zur magnetischen Axe ab, welche im Allgemeinen sehr weit von den entsprechenden astronomischen Elementen abweichen, und zu allen diesen mannigfaltigen Ursachen kommt noch die Gebundenheit der Kraftlinien in der Erde (2919), wodurch Anlass zu weiterer Verschiedenheit derselben gegeben wird.

3002. In der früheren Abhandlung habe ich den Einfluss der Luft nur in dem Falle betrachtet, dass ihre Temperatur das Mittel übersteigt (2895), und dies durch den Einfluss der Sonne in der Mitte des Tages erläutert; nun will ich den Einfluss der nächtlichen Kälte, wenn die Temperatur der Luft eines bestimmten Gebietes unter die mittlere sinkt, in Erwägung ziehen. Eine solche Abkühlung einer Luftmasse erhöht ihre Leitungsfähigkeit; im Verein mit der wärmeren Luft der Umgebung lenkt sie die durch beide gehenden magnetischen Kraftlinien ab, wie es die typische Kugel (2864, 2874) veranschaulicht, und erlangt das, was ich (paramagnetische) Leitungspolarität genannt habe, worunter ich nichts Anderes verstehe, als dass die Kraftlinien sich nach der Mitte der kalten Luft zusammendrängen.

3003. Der Theorie nach würde der Einfluss eines von Osten herankommenden kalten Luftgebietes darin bestehen, dass die die Erde verlassenden magnetischen Kraftlinien vorrückten oder sich gegen dasselbe hin bögen, da die in der kalten Luft und in ihrer Umgebung dahin gebeugt sind; und so wie die unmittelbar westlich von der kalten Region liegenden Linien sich gegen sie hin bewegen, so werden die weiter westlichen, da ihre Spannung zum Theil nachlässt, sich ebenfalls nach Ost bewegen, und so wird eine Wirkung stattfinden, die der der Sonne entgegengesetzt (2877, 2972) oder gleich der der Spirale in ihrer paramagnetischen Lage (2973, 2994) ist. Die oberen Enden der Nadeln an Orten mit Inclination zeigen diese Ablenkung des

oberen Theiles der Kraftlinien, da sie sich an, mit und in ihnen bewegen.

3004. Sowie das Kältegebiet herankommt, neigen sich die Linien zu ihm hin, bis es in die Lage der Maximalwirkung im östlichen Quadranten angelangt ist; dann kehren sie (ihre Declination) der Kälte voraus zurück, bis diese und jene (oder die Nadel) sich im magnetischen Meridian befinden. Wenn dann das Kältegebiet westwärts wandert, so folgt ihm die Nadel dahin, bis es den Ort seiner Maximalwirkung in dem westlichen Quadranten (2982) erlangt hat, um, wenn das Kältegebiet sich zurückzieht, nach Ost in ihre mittlere Lage zurückzukehren, vorausgesetzt dass zur Zeit kein anderer Einfluss als der des Kältegebiets vorhanden sei. Das obere Ende der freien Nadel strebt also an jedem Orte *zum* Kältegebiet *hin*, wie es vorher *von* einer wärmeren Region *fort* ging, und ebenso wie die Declination steht auch die Inclination unter diesem Einflusse. Liegt das Kältegebiet im magnetischen Meridian eines Ortes innerhalb der Tropen, wie St. Helena oder Singapore, so wird die Inclination hier zunehmen, während sie sich zur selben Zeit an nördlichen oder südlichen Orten, wo sie beträchtlich ist, vermindert, was eine directe Folge der Beugung der Kraftlinien in oder gegen das Kältegebiet ist.

3005. Die Hauptgebiete der Wärme und Kälte auf einem Breitenkreise folgen einander nicht in gleichen Zeiträumen. Es ist schwierig, sich ein Urtheil über die Intervalle in der oberen Region der Atmosphäre zu bilden; an der Erde folgt das tägliche Kältemaximum, wie von Vielen angenommen wird, siebzehn Stunden auf den vorhergehenden Mittag, ist also dem kommenden Mittag nur sieben Stunden voraus. Dies führt dazu, den vereinten Einfluss des warmen und kalten Gebietes auf die Ablenkung der Kraftlinien ganz besonders während des Vormittags und Mittags in Betracht zu ziehen. Wenn sich ein Kältegebiet nur drei und eine halbe Stunde westlich von einem Orte befindet, während gleichzeitig das wärmere Gebiet drei und eine halbe Stunde östlich von demselben liegt, so ist klar, dass der vereinte Effect beider, da beide in demselben Sinne ablenkend wirken, weit grösser sein wird, als der der Wärme oder der Kälte für sich, oder als zu irgend anderen Perioden; denn weder zwölf Stunden später noch zu irgend einer anderen Zeit werden die Umstände gleichwerthig sein. So verhält es sich auch mit anderen Combinationen von warmen und kalten Gebieten, deren Effect sowohl je nach ihrer Lage als nach ihrer Ausdehnung verschieden ist. Eine freie Nadel wird in Spannung gehalten durch die Linien, welche selbst von den warmen und kalten Gebieten der Atmosphäre beherrscht werden; sie nimmt wahrscheinlich niemals die mittlere Lage ein, sondern liegt immer in der Resultirenden dieser immer gegenwärtigen und fortwährend variirenden Ursachen der Veränderung.

3006. Da die Erde unter der Sonne rotirt, so würde jeder Ort, allgemein gesprochen, im Laufe von vierundzwanzig Stunden ein Maximum

und ein Minimum der Temperatur seiner Atmosphäre haben. Zieht man jedoch die ganze Erdkugel in Betracht, so giebt es ein Maximum und zwei Minima, nämlich ein Maximum-Gebiet unter der Sonnenbahn und ein Minimum in den beiden Polargegenden; die Minima würden jedoch im Laufe eines Tages nicht an den Polen liegen, sondern an einem Orte unter hoher Breite und vielleicht, wie im vorigen Falle, sieben bis acht Stunden vor Mittag eintreten. Der Ort, die Ausdehnung und der Einfluss dieser Kältegebiete werden sehr erheblich abhängen von dem Stande der Sonne zwischen den Wendekreisen; denn sowie sie gegen den einen Wendekreis vorrückt, verringert sich die Ausdehnung und der Einfluss des entsprechenden Kältegebietes, während das andere eine Zunahme erfährt. Ebenso also wie der Einfluss der Kältegebiete auf die allgemeine Richtung der Kraftlinien sich ändert, ändern auch diese ihre Lage, haben also zu verschiedenen Zeiten sehr verschiedene Ortsbeziehungen zur Sonne in den verschiedenen Monaten, und somit sind die Folgen sehr mannigfaltige. Eben diese Verschiedenheiten sind es, glaube ich, die sich uns in den nächtlichen und morgendlichen Vorgängen auf den zahlreichen über die Erde zerstreuten Observatorien offenbaren.

3007. Ich will nunmehr diese Ansichten und die durch das Experiment neu gewonnenen Kenntnisse auf die früher betrachteten und einige neue, zwischen den Tropen gelegene Oertlichkeiten anwenden, um womöglich die Gesetze der nächtlichen Wirkung, der mehr oder weniger stattfindenden Verspätung der Erscheinungen in Bezug auf die Ortszeit, des von Sabine für denselben Ort und dieselbe Zeit ermittelten Unterschiedes in der Richtung der Declinationsänderung in verschiedenen Monaten, der Verminderung der Inclination an einem Orte und der Zunahme derselben an einem anderen zu derselben Ortszeit darzulegen. Dabei wird es nothwendig sein, beständig auf den Ort Bezug zu nehmen, welcher in Beziehung zum Beobachtungsort als das jeweilige Centrum der Wärme- oder Kältewirkung angesehen werden kann. Ich werde hierbei das Wort Gebiet gebrauchen, nicht in dem Sinne, dass darunter die ganze Strecke der erwärmten Luft oder das Centrum zu verstehen sei, sondern der Hauptort des geänderten Theiles. Offenbar kann an manchen Tagen des März oder September die *gesammte* Luft östlich vom Meridian um 21^h oder 22^h als warm betrachtet werden im Vergleich zu der, welche sich zu derselben Zeit westlich vom Meridian befindet, und es kann daher eine resultirende Wirkung, die für alle Orte gleich wäre, nicht geben.

3008. Wir müssen uns erinnern, dass die östlich und westlich gerichtete Bewegung des oberen Endes der Nadel, von der ich immer rede, auf zweierlei Weise zu Stande kommt. Die Nadel wandert ebenso gut bei Entfernung der auf sie wirkenden Ursache, als sie es unter dem wirklichen, unmittelbaren Einfluss derselben, nur in entgegengesetzter Richtung, thut (2982). Eine westlich gerichtete Bewegung kann entweder dadurch zu Stande kommen, dass die Sonne im Osten des Beobachtungsortes herauf-

kommt, oder dadurch, dass sie, nachdem sie durch den Meridian gegangen ist und die grösste östliche Schwingung verursacht hat, im Westen fortgeht.

3009. *St. Petersburg* hat eine mittlere Declination von 6^0 10′ W. und eine Inclination von 70^0 30′ N. Obwohl also der magnetische Meridian nicht sehr stark gegen den astronomischen geneigt ist, so erreicht doch die Sonne oder das Wärme-Gebiet den ersteren 20′ bis 40′ Minuten früher als den letzteren und daher tritt die Zeit der grossen Sonnen-Schwingung, welche von 20^h bis 1^h stattfindet, früher ein, als es sonst der Fall gewesen sein würde. Der magnetische Aequator der Nadel (2977) bildet mit dem Erdäquator einen Winkel von 40^0, und bei dieser starken Neigung disponirt er die beiden für die tägliche Variation (2979) hauptsächlich in Betracht kommenden Quadranten so, dass im Sommer in St. Petersburg das wärmste Gebiet der Nadel nicht bloss weit näher ist als im Winter, sondern durch die Orte stärkster Wirkung der Quadranten geht, während es im Winter in schwächeren Orten liegt. Dies ist, glaube ich, eine Ursache der grossen Verschiedenheit im Betrage und im Charakter der Declinationsänderung. Im November, December und Januar beträgt sie nur 4′,47 bis 4′,65, während sie im Juni 11′,52 [1]) beträgt. Siehe die Tabellen p. 245 und die Curven auf Taf. II.

3010. Im December und Januar, also im Winter, verschwindet die östliche Sonnenschwingung zu St. Petersburg fast völlig. Um 1 Uhr ist sie vorüber [2]), worauf das obere Ende der Nadel bis 9^h der Sonne folgt, nachdem sie um 5^h durch die Mittellage gegangen ist. Alsdann steht sie still, um sich hierauf bis 16^h oder 17^h östlich zu bewegen, steht abermals nahezu oder gänzlich still bis 21^h und führt dann die Sonnenschwingung aus; durch die sie in die äusserste Ostlage gelangt. Hier sind also zwei sehr wichtige Punkte zu erklären, nämlich, warum die Nadel sich nach 9^h ostwärts bewegt und warum sie von 13^h bis 20^h nicht westwärts, sondern im Gegentheil ostwärts geht oder still steht. Die Erklärung ist, meiner Ansicht nach, folgende. Die Lage von St. Petersburg ist derart, dass die Kälte der oberen Region, welche täglich auf den Untergang der Sonne folgt, eine paramagnetische Wirkung hervorbringen muss (2994, 3003). Diese Wirkung beginnt mit Sonnenuntergang im Osten zu er-

---

[1]) Die östliche und westliche Bewegung einer freien Inclinationsnadel wird durch die Bewegungen einer horizontalen Nadel nicht eigentlich dargestellt, insofern als an Orten mit verschiedener Inclination der Winkel in Ebenen, die gegen die Inclinationsrichtung selbst ungleich geneigt sind, abgelesen wird; in hohen Breiten wird das Resultat dadurch sehr übertrieben. Wiewohl indess verschiedene Orte nicht ohne Correction mit einander verglichen werden können, so sind doch die Variationen an einem und demselben Orte, wie St. Petersburg, mit einander vergleichbar und proportional.

[2]) Die Petersburger Beobachtungen sind 21,5 Minuten nach jeder vollen Stunde angestellt; ich führe jedoch nur die Stunden, nicht die Minuten an, weil dies für die allgemeine Darstellung hinreicht.

scheinen, und ich schliesse, dass das Kältegebiet, das von 9^h bis 11^h nicht in der Breite der Sonnenbahn, die zu südlich ist, sondern wahrscheinlich nahe unter der von St. Petersburg selbst von Osten herankommt, um diese Zeit, also von 9^h bis 11^h, während die Nadel stillsteht, im Stande ist, jede etwa noch vorhandene Tendenz nach Westen aufzuheben, die Kraftlinien und das Nadelende bis 17^h nach Ost zu drängen und sie hier festzuhalten, bis die Sonne sie in der grossen Schwingung nach Osten treibt. Dass die Kälte, wenn man ihre wahrscheinliche Lage in Erwägung zieht, wohl im Stande ist, das Nadelende bis 17^h in östlicher Richtung zu erhalten, und das Sonnengebiet dasselbe von 17^h bis 20^h oder 21^h nicht westwärts treibt, wird man, glaube ich, als eine natürliche Folge der wahrscheinlichen Lage der beiden Gebiete zwischen diesen Stunden ansehen. Denn stelle die Sonne (deren Ort wir kennen) das Wärmegebiet um 17^h vor, so befindet sie sich um diese Zeit in dem östlichen Quadranten unter dem Horizont, so dass sie der Nadel, wenn sie durch die Erde hindurch oder um sie herum auf die Nadel einwirken könnte (2995), eine Bewegung nach Ost ertheilen würde, und diese Wirkung würde bis 19^h fortdauern, so lange die Sonne in diesem Quadranten steht. Wenn sie um diese Zeit in den Quadranten eintritt, in welchem sie eine westlich gerichtete Wirkung auf die Nadel auszuüben beginnt, dann hat sie eine solche Lage in Bezug auf die Nadel zu St. Petersburg (wie man aus einer Vergleichung einer auf dem Globus (2996) gezogenen Linie mit dem magnetischen Meridian und der Inclination ersehen kann), befindet sich in einem so unwirksamen Theile des Quadranten (2982) und ist auch so weit weg, dass sie unvermögend ist, die Nadel nach West zu treiben und sie nur im Verein mit dem zurückweichenden Kältegebiet hier festzuhalten vermag, bis um 21^h oder ungefähr um diese Zeit die Sonnenschwingung von West nach Ost eintritt, wie in anderen Fällen. Hierauf folgt die Nadel von 1^h ab der Sonne, mit dem Vorrücken der Zeit allmählich langsamer gehend, um darauf in den Wirkungsbereich des Kältegebietes der nächsten vierundzwanzig Stunden, wie oben beschrieben, zu gelangen.

3011. Ich habe angenommen, dass die östlich gerichtete Wirkung der Kälte bis 17^h fortdaure, was vermuthlich einschliessen würde, dass das Kältegebiet bis zu dieser Stunde östlich von Petersburg sei. Es ist sehr schwer, selbst in allgemeiner Weise von Orten oder Zeiten von Dingen zu reden, die bisher so wenig definirt sind als das Wärme- und Kältegebiet der oberen Atmosphäre; aber in Bezug auf die Temperaturen an der Erdoberfläche in Petersburg kann ich sagen, dass die äusserste Kälte im Januar um 19^h und 20^h stattfindet, *fünf Stunden* später als in den Sommermonaten. Ich will hier auch die in Anbetracht der Sommermonate nützliche Bemerkung machen, dass das Wärmemaximum drei Stunden lang in *entgegengesetztem Sinne* variirt, so dass, während im Sommer zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur des Tages nur elf Stunden liegen, im Winter

neunzehn Stunden verstreichen, wie aus der Temperatur-Tabelle auf S. 245 zu ersehen ist. Im Januar tritt also die höchste Temperatur nur fünf Stunden nach der niedrigsten ein, was im Allgemeinen mit der vorausgesetzten Ursache der Wirkungen auf die Nadel übereinstimmt.[1])

3012. Da ich Petersburg als ein allgemeines Beispiel der nächtlichen Wirkung nehme, um hieran die entsprechenden Wirkungen an anderen Orten zu erläutern, so darf ich bemerken, dass in der nächtlichen Wirkung auch ein Theil des Effectes der Sonne, combinirt mit dem der Kälte, zum Ausdruck kommen muss. Die Sonnenwirkung ist, wie durch Beobachtung bekannt ist, sehr umfassend. Was Petersburg betrifft, so ist die Sonne, wenn sie in dem südlichen Wendekreis und im Meridian steht, 80^0 bis 90^0 vom Zenith entfernt, und doch lehren uns die Beobachtungen und Curven, welchen grossen Einfluss sie ausübt (3009). Wo auch die Sonne sein mag, so bringt sie durch ihre Bewegung Aenderungen hervor, die sich gleichzeitig auf der ganzen Erde fühlbar machen; um 9 und 10 Uhr befindet sie sich in einem wirksamen Theil desjenigen Quadranten, welcher die Nadel nach Ost treiben würde, wenn die Erde durch Luft ersetzt würde, und in den zur Nachahmung dienenden Versuchen mit einer Spirale (2995) sie wirklich nach Ost treibt, wenn ein Magnet eingeschaltet ist. Die nächtliche Wirkung muss also im Winter am grössten sein, wie es auch wirklich der Fall ist, weil dann die stärkste Kälte herrscht und die Wirkung der fernen Sonne damit zusammenfällt. Es ist sehr wahrscheinlich, dass viele merkwürdige Verzerrungen der nächtlichen Wirkung, welche sich an den Curven von Hobarton, Toronto und anderen Orten zeigen, von der Art abhängen, wie diese beiden Ursachen sich (vermuthlich mit anderen) in verschiedenen Stunden combiniren.

3013. Obwohl die Declination sich zwischen 17^h und 21^h wenig oder gar nicht ändert, keine westliche Bewegung eintritt (3010), so würde ich um diese Zeit doch eine merkliche Wirkung auf die Inclination erwarten und schliessen, dass sie in der Zunahme begriffen ist; allein ich habe keine Tabelle der täglichen Aenderung der Inclination erlangen können.

3014. Für den Februar gelten dieselben Bemerkungen; da aber die Sonne nun aus den südlichen Zeichen herankommt und sich Petersburg nähert, so wächst ihre Kraft, was sich darin zeigt, dass die östlich gerichtete Wirkung der Kälte um 15^h, 16^h und 17^h um mehr als eine halbe Bogenminute geringer ist als früher, dass diese vollständig überwältigt

---

[1]) Was die Kälte der oberen Atmosphäre und den Eintritt ihres Maximums (wenigstens in gewissen Niveaus) nicht um Mitternacht, sondern Stunden lang später betrifft, — wie oft sehen wir nicht bei uns nach einer klaren heiteren Nacht, unmittelbar vor Sonnenaufgang, hoch oben einen Wolkenschleier sich bilden, der mit dem Erscheinen der Sonne zerreisst und zerrinnt! In diesen Fällen zeigt die Bildung der Wolken die Zeit der grössten oben herrschenden Kälte an, und ihre Auflösung den schnellen Uebergang in höhere Temperatur.

wird und zwischen 17^h und 18^h eine Rückkehr nach West eintritt, ehe die grosse östliche Schwingung beginnt. Im März ist der Effect noch auffallender; die östlich gerichtete paramagnetische Wirkung hört um 14^h aut und die folgende westlich gerichtete diamagnetische erstreckt sich bis 20^h; dann folgt die Schwingung. Im April beginnt die durch das Wärmegebiet bewirkte westliche Bewegung schon um 13^h und dauert bis 20^h fort und ist im Uebrigen sehr stark. Es ist interessant, einen Blick zu werfen auf die Temperaturtafeln dieser Monate, selbst so wie sie an der Erdoberfläche erhalten werden. Mit dem Vorrücken der Monate hört die durch die Kälte bewirkte östliche Bewegung immer früher auf, im Januar um 17^h und im April um 13^h. Das Temperaturminimum weicht ebenfalls zurück, und zwar in denselben Monaten von 20^h auf 16^h. Dagegen *rückt* das Wärmemaximum von den Winter- zu den Sommermonaten *vor* und wird auch grösser, und so zeigt sich der Effect der Sonnenschwingung sowohl in der *Vorrückung* der Aenderungszeit als auch in der *Zunahme* der Grösse der Variation.

3015. Im Mai und Juni ist die östlich gerichtete Nacht- oder Kältewirkung verschwunden oder zeigt sich nur in einem geringen Schwanken, und von Mitternacht an treibt die Herankunft des Sonnengebiets das Nadelende nach West. Ein Blick auf den Globus (2996) lässt uns dies erwarten. Die Sonne befindet sich dann auf dem nördlichen Wendekreise und läuft in verhältnissmässiger Nähe um Petersburg herum; eine freie Inclinationsnadel würde in 24 Stunden einen Umlauf in derselben Richtung wie das Sonnengebiet machen, aber am entgegengesetzten Ende der beide verbindenden Linie. Befände sich die Nadel am astronomischen Pol der Erde und hätte sie daselbst eine starke Inclination, so würde sie beinahe einen Kreis mit nahezu gleichförmiger Geschwindigkeit beschreiben; da sie aber in Wirklichkeit dem Wärmegebiet in einem Theile seines gleichförmigen Tageslaufes viel näher ist als in einem anderen; so macht der radius vector, der sie mit dem Gebiet verbindet, zu einer gegebenen Zeit im ersteren Falle einen viel grösseren Winkel, als wenn es weiter entfernt ist; hieraus folgt die grössere Geschwindigkeit der Bewegung zwischen 20^h und 1^h und die Bewegung von West nach Ost, die ich kurz die Sonnenschwingung genannt habe.

3016. Aus der Curventafel (Taf. II) ersieht man, dass wir an Petersburg ein schönes Beispiel jener Art von Vorgängen haben, auf welche Sabine in seiner Abhandlung über die Erscheinungen zu St. Helena so nachdrücklich die Aufmerksamkeit gelenkt hat[1]), und die auch in Hobarton, Toronto und anderswo vorkommen, nämlich eine Declinationsänderung in *verschiedenen* Richtungen für dieselben Stunden in verschiedenen Monaten. So geht im vorliegenden Fall das Nadelende ostwärts von 13^h bis 20^h im October, November, December, Januar und Februar, während es im April,

---

[1]) Philosophical Transactions, 1847, p. 51.

Mai, Juni, Juli und August in derselben Zeit westwärts geht; die März- und Septembercurven halten die Mitte. Allein diese Verschiedenheit ist nun hoffentlich durch die Hypothese erklärt (3010, 3015), und ich glaube zuversichtlich, dass sich ebenso befriedigende Gründe für St. Helena (3045) und andere Orte ergeben werden (3022, 3039, 3065).

3017. Der paramagnetische Charakter der östlich gerichteten Wirkung der Kälte in den Wintermonaten nach 10 Uhr wird sich wahrscheinlich durch Inclinationsbeobachtungen für dieselbe Zeit veranschaulichen lassen; denn wenn das Kältegebiet südlich von Petersburg geht, so wird die Inclination durch die paramagnetische Wirkung abnehmen, aber durch die diamagnetische Resultirende zunehmen, und die Art, wie diese beiden Richtungselemente, d. h. Inclination und Declination, sich in einem gegebenen Moment combiniren, ist für die vollständige Aufklärung des magnetischen Effectes der Atmosphäre sehr wichtig. Für Petersburg habe ich diese Data nicht geben können. Die Aenderungen der Gesammtintensität würden ebenfalls zur Aufklärung dieses Gegenstandes viel beitragen. In der That kann man doch die Folgen der in Rede stehenden Ursache nicht erklären, wenn man nur ein Element aus den drei dabei in Betracht kommenden herausgreift. Was wir schliesslich kennen müssen, ist die Gesammtheit der Aenderungen der Nadel hinsichtlich der Lage und Intensität. Alle sind wichtig und alle müssen zugleich in Betracht gezogen werden; ohnedies kann die Theorie der Variationen meiner Meinung nach nicht sonderlich gefördert werden.

3018. *Greenwich* liefert ein schönes Beispiel der nächtlichen Episode und der verschiedenen Richtungen der magnetischen Variation für dieselben Stunden in verschiedenen Monaten. In dieser Hinsicht gleicht es Petersburg sehr, hat aber noch ein weiteres grosses Interesse wegen der starken westlichen Declination[1]) und des hierdurch auf die Orte der wirksamen Quadranten (2979, 3000) und die Zeiten der Variationserscheinungen geübten Einflusses. Setzt man es auf dem Globus (2996) an seine Stelle, so sieht man, dass die Aequatorialebene für die Mittagswirkung wahrscheinlich nicht viel in Betracht kommt, und dass das Sonnen- oder Wärmegebiet im Sommer nahezu durch die Mitte der beiden Hauptquadranten geht, was im Verein mit seiner gleichzeitigen Nähe die Mittagsschwingung nach Ost sehr gross machen muss. Im Winter liegt es weiter ab und in viel schwächeren Theilen des Quadranten, so dass die Schwingung weit kleiner sein muss, wie es auch wirklich der Fall ist. Die grösste Variation im Sommer beträgt 11′,30 und die kleinste im Winter nur 5′,88. Im April, Mai, Juni, Juli und August tritt die grosse westliche Declination des südlichen oder oberen Endes der Nadel um $19^h\ 20'$ ein, und die grösste östliche Lage hat es um $1^h\ 20'$. Die letztere Lage bleibt sich das ganze Jahr hindurch gleich, aber die äusserste westliche Lage hat es in den sieben anderen (kalten)

---

[1]) Mittlere Declination $22^0\ 51'$ W. Mittlere Inclination 69^0 N.

Monaten um 9^h 20′ und 11^h 20′[1]), nähert sich also der Mitternacht und übertrifft dann die westliche Abweichung am Morgen. Demnach ist der die Wirkung der nächtlichen Kälte schwächende Einfluss der Sonne (3005) im Sommer sehr deutlich, und ebenso auch die Art, wie in den Wintermonaten die Nachtwirkung durch die zunehmende Kälte (3006) wächst, bis sie, wenn die Sonne sich am südlichen Wendekreise oder in den schwächeren Theilen der Segmente befindet, überwiegend wird. Die meiner Annahme nach bei diesen Vorgängen obwaltenden Principien habe ich bei dem Beispiele von Petersburg dargelegt (3010 etc.).

3019. Der magnetische Meridian liegt stark östlich gegen den astronomischen Meridian da, wo das Wärmegebiet ihn durchschneidet, namentlich im Winter, denn dann durchschreitet die Sonne ihn um 10 Uhr und im Sommer um 11 Uhr. Daher muss die Schwingung im Winter früher erfolgen als im Sommer, aber freilich auch in Folge der kleineren Winkelbewegung des Wärmegebiets in Bezug auf Greenwich (3015) eine längere Zeit in Anspruch nehmen und doch, wie eben bemerkt (3018), wegen der Entfernung von geringerer Grösse sein. Alldies scheint in bemerkenswerther Uebereinstimmung mit den Thatsachen zu sein. Die Schwingung beginnt im Winter um 17^h, im Sommer aber nicht vor 19^h und endet in beiden Jahreszeiten zu derselben Stunde, nämlich um 1 Uhr, ist also im Winter von längerer Dauer als im Sommer. Sie beginnt früher, weil der magnetische Meridian früher durchschritten wird als im Sommer, und man sieht auch ein, wesshalb die Zeitdifferenz in den Anfang und nicht in das Ende der Schwingung fällt; denn wegen der Declination ist das Wärmegebiet im Winter des Morgens weniger östlich und des Nachmittags viel weiter westlich vom magnetischen Meridian als zu denselben Stunden im Sommer, und daher ist die Schwingung im Winter zeitlich voraus, und obwohl von längerer Dauer, fällt ihr Ende doch mit dem Ende im Sommer zusammen, wenigstens so weit dies aus den zweistündlichen Beobachtungen zu erkennen ist.

3020. Da das Gebiet der Sonne voraus ist, so muss die Grösse der mittleren Declination bewirken, dass die Tagesschwingung früh eintritt, d. h. früher als zu Hobarton und namentlich früher als zu Toronto, wenn nicht andere Ursachen störend auf die Variation einwirken. In der That ist der Anfang früher als zu Toronto, das Ende aber ist dasselbe; im Vergleich zu Hobarton tritt Anfang und Ende eine Stunde früher ein. Der letztere Unterschied rührt, glaube ich, von dem Unterschiede der mittleren Declination her; für Toronto werden wir, glaube ich, eine andere, die Zeit beeinflussende Ursache finden (3032).

---

[1]) Siehe die Curven auf Tafel II. Die Beobachtungen sind nur alle zwei Stunden angestellt, und daher ist in der Angabe der Zeit einer bestimmten Veränderung keine Genauigkeit zu erwarten.

3021. Wir müssen uns auch erinnern, dass die Sonne oder die Wärmeregion im Winter zwei Stunden früher durch den magnetischen Meridian geht als durch den astronomischen, und daher hört ihr Einfluss, durch welchen sie dem südlichen oder oberen Ende der Nadel eine westliche Lage ertheilt, weit früher auf als im Sommer und vielleicht früher, als sie aufhört, näher heranzurücken, und so muss die östlich gerichtete Nachwirkung grösser sein, wie es auch wirklich der Fall ist. Diese östlich gerichtete Wirkung muss auch dadurch verstärkt werden, dass der Einfluss des Wärmegebiets auf die Nadel nach dem Durchschreiten des magnetischen Meridians verhältnissmässig gross sein muss; denn die Bahn desselben bildet mit dem Meridian vor dem Durchgang durch denselben einen stumpfen und nachher einen spitzen Winkel (3000), und daher ist es nun wirksamer. Zu allen diesen Einflüssen kommt noch der der Kälte im fernen Westen (3005) hinzu.

3022. Der Richtungsunterschied vor 19^h (3016) ist für Greenwich, wie man aus den Monatscur ven, Taf. II, sieht, scharf ausgeprägt. Das südliche oder obere Ende der Nadel geht im Mai, Juni, Juli und August von 12^h bis 19^h, also von Mitternacht bis fünf Stunden vor Mittag westlich, im October, November, December und Januar während derselben Stunden östlich. Betrachten wir zunächst einen Sommermonat, z. B. Juni: Das obere Nadelende ist mit dem Heranrücken der Sonne, wenn diese sich fast in der Mitte ihrer Bahn durch den östlichen Quadranten befindet, bis 19^h westlich (wie es sein muss); mit Rücksicht auf die Entfernung und die Winkelbeziehung zum magnetischen Meridian ist es wahrscheinlich, dass das Wärmegebiet sich alsdann in dem Orte befindet, wo es die grösste Macht hat, das Nadelende westwärts zu treiben.[1]) In den nächsten sechs Stunden schreitet die Nadel zur äussersten Ostlage fort, legt den Beobachtungen zufolge in den ersten zwei Stunden ein Viertel der ganzen Schwingung, eine halbe in den nächsten zwei und eine Viertelschwingung in den zwei übrigen, und zwar ohne Zweifel mit anfangs rasch zunehmender und dann rasch abnehmender Geschwindigkeit zurück. Während dieses Durchganges des Gebiets steht die Sonne ungefähr zwei Drittheile der Zeit in dem östlichen Quadranten und ein Drittheil in dem westlichen, und ihre Bahn in dem letzteren Drittheil bildet mit Greenwich nahezu die Basis eines gleichseitigen Dreiecks, dessen eine Seite der magnetische Meridian ist, so dass sie während der ganzen Zeit der Nadel nahe ist und demnach eine starke Wirkung auf sie ausübt (3000). Um 1^h hat die Sonne eine solche Stellung in Bezug auf diesen Winkel, dass das Gebiet, wenn wir annehmen, es sei jener

---

[1]) Man darf nicht vergessen, dass die Rückkehr von einer extremen östlichen oder westlichen Lage nicht eintritt, wenn die Sonne oder das Wärmegebiet eine neutrale Linie durchschreitet oder von einem Quadranten in einen anderen übergeht, sondern wenn sie durch den Punkt ihrer stärksten Wirkung in einem Quadranten hindurchgeht (2982).

etwas voraus, sich an der Stelle befinden würde, wo es seine stärkste östlich gerichtete Wirkung ausüben könnte, und deshalb müsste hernach, wenn es nach West zurückgeht, die Nadel, wie es auch wirklich der Fall ist, demselben folgend von Ost nach West zurückkehren. Die Nadel setzt ihre Bewegung nach West fort und durchschreitet um 7^h ihren *mittleren* Monatsort; inzwischen hat die Sonne vorher, etwas nach 6 Uhr, das westliche Segment verlassen und den magnetischen Aequator durchschnitten; sie ist zu Greenwich noch nicht untergegangen, und wenn sie eine Wirkung hat, so wird es wegen des Segments, in dem sie sich nun befindet (2979), die sein, das Nadelende *westwärts* zu treiben. In der That fährt dasselbe fort westwärts zu gehen, langsam nur nach 10 Uhr, in der Zeit von 10^h bis 15^h etwas schneller, darauf, sowie die Sonne aufgeht, noch schneller, wie sie es muss, bis 19^h und vollführt endlich die grosse Schwingung nach Ost wie vorher. Der ganze Vorgang ist hier sehr einfach und anscheinend eine natürliche Folge der angenommenen Ursache. Ohne Zweifel treten auch Kältewirkungen in's Spiel; allein das Kältegebiet hat an Intensität und Ausdehnung verloren (3006), hat sich nordwärts zurückgezogen und seine Wirkung scheint im Verein mit dem vorhergehenden bloss Schwankungen in der Geschwindigkeit der Aenderung zur Folge zu haben.

3023. Hinsichtlich des Winters wollen wir den Januar betrachten und, da in allen Monaten die nach Ost gerichtete Bewegung ihr Maximum um 1 Uhr, nach dem Durchgang der Sonne durch den Meridian erreicht, hier den Cyklus beginnen. Um 1^h befindet sich das obere Ende der Nadel in der äussersten Ostlage, die Grösse der Abweichung ist jedoch nicht halb so gross als im Sommer, da die Sonne nun weit entfernt ist. Die Sonne und das Wärmegebiet durchschreiten den magnetischen Meridian um 21^h oder 22^h und müssen daher in den Stunden vorher und nachher ihren vollen von West nach Ost gerichteten Einfluss geltend machen. Um 1 Uhr kehrt die Nadel, der sich zurückziehenden Sonne folgend, nach West um und fährt in dieser Bewegung sieben bis acht Stunden, also bis 9^h rasch fort, während dessen das Wärmegebiet sowie das Kältegebiet des frühen Morgens sich in Quadranten und Lagen befinden, welche, wenn sie überhaupt einen Einfluss haben, wie er in den Versuchen (2975, 2995) sich zeigt, das Nadelende westlich von seiner mittleren Lage richten oder festhalten würden. Alsdann geht Folgendes vor sich: die Nadel bleibt bis 11^h stillstehen, geht darauf um Mitternacht und bis 15^h östlich, verharrt wiederum zwei Stunden lang ganz oder nahezu in dieser Lage, geht dann wieder nach Ost, anfangs langsam, nachher schneller bis 1^h, wo sie ihre äusserste östliche Lage und den Ort, von dem sie ausgegangen ist, erreicht hat.

3024. Diese nächtliche Wirkung ist ein anderes Beispiel von dem Einfluss eines Kältegebiets, wie wir es bei Petersburg betrachtet haben (3010). Es scheint mir, dass um 11^h die unmittelbare Sonnenwirkung und die ihr folgende Rückkehr nach West vorüber ist, dass dann das von

Osten kommende Kältegebiet (im Verein mit dem complementären Einfluss der Sonnenwirkung auf der anderen Seite der Erdkugel) durch seinen Paramagnetismus wirkt und die Nadel östlich richtet, was es bis 14^h oder 15^h zu thun vermag (2994, 3010). Bei dieser ostwärts gerichteten Bewegung erreicht die Nadel nicht ihren mittleren Ort, sondern bleibt noch 1′ westlich davon; und der Grund, wesshalb sie hier von 15^h bis 17^h stehen bleibt und dann wieder mehr und mehr unter dem Einfluss der Sonne nach Ost zu gehen beginnt, ist wahrscheinlich der, dass, sowie die Sonne in den südlichen Wendekreis steigt, sie vermöge ihres Abstandes und ihrer Lage das resultirende ferne Wärmegebiet allmählich mit dem der näheren Kälte in's Spiel treten lässt; dass sie anfangs den Einfluss des letzteren hemmt, dann mit ihrem Vorrücken sich mit demselben combinirt und es schliesslich ersetzt und so bewirkt, dass sich um 1 Uhr die gewöhnliche Schwingung, anfangs langsam, dann rasch vollzieht. Wie dies geschieht, sieht man, mit Rücksicht auf den Ort der Sonne in der südlichen Halbkugel und in den beiden magnetischen Segmenten, durch einen Blick auf den Globus (2996) und die Variationscurven, Tafel II.

3025. Betrachten wir einen anderen, intermediären Monat, z. B. März. Um 1^h ist das obere Ende der Nadel in der äussersten Ostlage und folgt dann bis 9^h der Sonne wie vorher (3023). Von 9^h bis 11^h steht es still, alsdann tritt der paramagnetische Einfluss der Kälte von Osten her ein, und die Nadel bewegt sich bis 13^h ostwärts. Dann steht sie still, also zwei Stunden früher als im vorigen Falle; denn die Sonne geht in Greenwich nun schon um 6 Uhr auf und ihre Lage ist, sowohl was den magnetischen Meridian als auch was das Segment anbetrifft, in welchem sie sich zu der Zeit befindet, einflussreicher, so dass die Nadel thatsächlich einige Stunden lang nach West getrieben wird. Alsdann bleibt sie bis 19^h fast stillstehen, worauf nun die grosse Sonnenschwingung eintritt. Dass sie zwischen 15^h und 19^h in der westlichen Lage festgehalten wird und keine weitere Bewegung nach Westen stattfindet, ist nicht unverträglich mit dem südlichen Ort des Wärmegebiets, und wahrscheinlich nimmt die *Inclination* um diese Zeit zu, was mit dem gleichzeitigen Zustande der Dinge in bester Harmonie wäre.

3026. Was die Vorgänge in anderen Monaten diesseits und jenseits des März betrifft, so ist der entsprechende Monat in der entgegengesetzten Jahreshälfte (September) dem März gleich, ausgenommen der Vorgang, der davon abhängt, ob ein Monat, der einem anderen folgt, wärmer oder kälter ist als er selbst (3053). Greenwich liefert also eine befriedigende Illustration zu der Anwendung der Hypothese auf den Fall eines Richtungsunterschiedes zur selben Stunde in verschiedenen Monaten (3016, 3022), so wie auch des Vorkommens der Nachtwirkung und ihres Uebergangs in die sehr ausgesprochene östliche Bewegung des frühen Morgens.

3027. Die Vorgänge zu *Hobarton* und *Toronto*, obwohl diese auf ent-

gegengesetzten Erdhälften liegen, sind so ähnlich, dass wir sie zusammen betrachten dürfen. Eine sehr wichtige Vergleichung der Variationen der Declination, Inclination und Gesammtintensität an beiden Orten ist bereits von Sabine angestellt worden.[1]) Der Globus (2996) zeigt uns, dass die Vertheilung der Quadranten nahezu gleich ist, indem die Sonne von etwa 18^h bis 6^h, also während des Tages, sich in dem östlichen und westlichen Hauptquadranten befindet. Im Sommer befindet sich die Sonne in einflussreicheren Theilen der Quadranten als im Winter, und die Folge davon erkennt man an dem Unterschiede der Grösse der Declinationsänderung. Dieselbe beträgt zu Hobarton im Sommer 12′,05 und nur 3′,6 im Winter, zu Toronto im Sommer 14′ und im Winter 5′,2. Der Charakter der Nachtwirkung ist an beiden Orten gleich und ist in den vorigen Beispielen im Einklang mit der Hypothese erklärt worden (3010, 3024).

3028. Sabine hat die Data angegeben, durch welche die Aenderungen der Inclination und der Gesammtintensität zu Hobarton und Toronto mit der Hypothese verglichen und auf sie angewandt werden können; ich nehme jedoch Anstand, bei diesem allgemeinen Ueberblick auf sie einzugehen, da sie mit den Declinationsänderungen zusammen betrachtet und für jede Stunde an jedem Orte verglichen werden müssen. Die Inclinationsänderung ist, wie zu erwarten war, im Sommer zu Hobarton am grössten, nämlich 2′,18, und im Winter am kleinsten, 1′,28. Die Hauptänderung tritt am Tage ein, wie bei der Declination; am grössten ist die Inclination, wenn das Sonnengebiet durch den Meridian geht. Das Maximum der Inclination tritt nicht in allen Monaten zu derselben Stunde ein, sondern im December, Februar und März um 23^h, im September um 24^h, im Juni und Juli um 1^h; seinem eigenen Fortrücken folgen die Minima zu beiden Seiten desselben, so dass die ganze Curve hinsichtlich der Zeit in der Ordnung dieser Monate vorrückt. Noch ein anderer Einfluss macht sich darin geltend, dass in manchen Monaten, wie December und Februar, der Uebergang vom *Maximum* zum *Minimum* der Inclination, in anderen, wie Juni, Juli und September, vom *Minimum* zum *Maximum rascher* erfolgt. Zu Toronto hat die Inclinationsänderung, obwohl sie in mancher Hinsicht eigenthümlich ist, im Allgemeinen denselben Charakter.

3029. Hinsichtlich der Variation der Gesammtintensität an beiden Orten will ich für jetzt nur auf Sabine's in dessen Werken niedergelegte Beobachtungen hinweisen.

3030. In der Zeit der täglichen Aenderungen findet zwischen Hobarton und Toronto ein merkwürdiger Unterschied statt, auf den Sabine die Aufmerksamkeit gelenkt hat. Er besteht darin, dass sie an letzterem Orte eine

---

[1]) Hobarton Observations, 1850, vol. I, p. LXVIII etc.; auch Philosophical Transactions, 1847, p. 55 und 1850, pp. 201, 215 etc. Siehe die Curven Taf. II und die Tabellen für Toronto, pp. 243, 244.

Stunde früher eintreten als am ersteren. Hinge dies von der Declination ab, so müsste die Aenderung zuerst in Hobarton eintreten, denn hier erreicht die Sonne den magnetischen Meridian früher als den astronomischen und am Nachmittage hat sie zu gleichen Stunden der Ortszeit eine günstigere Lage in den Quadranten als zu Toronto; und doch erfolgt die Aenderung dort später als hier.

3031. Zieht man die *Zeit* der Sonnenschwingung von West nach Ost in Betracht, so müsste die Mitte derselben einigermassen dem Moment des Eintritts des Wärmegebiets in den magnetischen Meridian nahe liegen (2982), und sie liefert somit einen angenäherten Ausdruck der relativen Lage des Gebiets und der Sonne. Die Schwingung dauert zu Hobarton fünf Stunden, von 21^h bis 2^h, und den magnetischen Meridian durchschreitet die Sonne nahezu in der Mitte der Zeit oder um $23^h\ 20'$. Aber nach der eben gemachten Voraussetzung ist dies auch die Zeit, zu welcher das Wärmegebiet ihn durchschreiten muss und so scheinen die Sonne und das Wärmegebiet an diesem Orte gleichzeitig in den Meridian einzutreten. Zu *Toronto* dauert die Sonnenschwingung im Winter etwa vier Stunden, von 21^h bis 1^h, und im Sommer fünf Stunden, von 20^h bis 1^h. Die Mitte der letzteren ist $22^h,5$, zu welcher Zeit das Gebiet den magnetischen Meridian durchschreiten muss, und da dieser nahezu mit dem astronomischen zusammenfällt, so ergiebt sich, dass das Gebiet der Sonne 1,5 Stunden *voraus* ist. Aus einer ähnlichen Vergleichung für den Winter würde folgen, dass das Gebiet der Sonne ungefähr eine Stunde voraus ist.[1])

3032. Ich bin geneigt, dieses Vorauseilen des Wärmegebiets zu Toronto zum grossen Theil auf die geographische Vertheilung von Land und Wasser daselbst zurückzuführen. Der Atlantische Ocean liegt im Osten und das Amerikanische Festland im Westen dieser Station, und wie Dove's Karten und Resultate erkennen lassen, steigt die Temperatur über dem Lande früher und rascher als über dem Wasser, woraus sich das Vorrücken des Wärmegebiets in Toronto in Bezug auf die Zeit oder die Sonne erklärt. Bei Hobarton liegen die Dinge anders; hier befindet sich das Land zwischen der vorrückenden Sonne und dem Orte und es sucht demnach das warme Luftgebiet zurückzuhalten, wodurch dasselbe zeitlich mit der Sonne zusammenfällt. Selbst dass zu Toronto der Unterschied im Sommer grösser ist als im Winter, scheint sich in derselben Weise erklären zu lassen, nämlich durch die relative Stellung der Sonne in den beiden Jahreszeiten zu der Vertheilung von Land und Wasser.

---

[1]) Was den Umstand betrifft, dass die Resultirende der Wirkungen, welche das Nadelende westwärts treiben, der Sonne voraus liegt, so müssen wir uns erinnern, dass die vorhergehende Kälte, die vielleicht nur sieben Stunden im Westen ist, durch ihre Wirkung auf das allgemeine Curvensystem mit beiträgt zur Westrichtung der Nadel, während die Sonne im Osten und selbst im Meridian steht 3005).

3033. Obschon die Temperatur an der Erdoberfläche einen sehr unsicheren Schluss auf die in der Höhe (2937) gestattet, so findet sich doch, soweit dies zulässig ist, Uebereinstimmung mit dieser Ansicht. Das Temperaturmaximum nach Mittag tritt zu Hobarton früher ein als zu Toronto, an ersterem Orte ganz regelmässig um 2 Uhr, und das Minimum um $16—19^h$, im Sommer früher als im Winter. Zu Toronto liegen die Maxima zwischen 2 und 4 Uhr und die Minima zwischen 16 und 18^h. Im Sommer treten die Maxima später ein als im Winter, die Minima wie in Hobarton im Winter später als im Sommer. Die mittlere Temperatur ist zu Toronto niedriger als zu Hobarton, nämlich dort $44^0{,}48$, hier $53^0{,}48$. Auch die Temperaturschwankung ist in Toronto grösser als in Hobarton, erreicht dort 43^0, hier nur 18^0.

3034. Es ist wahrscheinlich, dass der Durchgang des örtlichen Theiles des Wärmegebietes für einen bestimmten Ort an vielen Stellen der Erde Verzögerungen und Beschleunigungen erleidet, die man für jede Oertlichkeit und Jahreszeit ermitteln muss. Ein Ort von entgegengesetzter Lage wie Toronto wird die entgegengesetzte Erscheinung oder eine Verzögerung aufweisen und daher kann es kommen, dass Nadeln unter derselben Breite zu sehr verschiedener Ortszeit, aber dennoch in je vierundzwanzig Stunden regelmässig afficirt werden. Das Gebiet würde in dieser Zeit seinen täglichen Umlauf machen, aber seine Geschwindigkeit würde an verschiedenen Theilen und zu verschiedenen Zeiten seines Laufs verschieden sein, und zwar in verschiedenem Maasse und in verschiedener Ordnung unter verschiedenen Breiten und an verschiedenen Theilen eines und desselben Breitenkreises. Selbst die Dauer des Effectes (beispielsweise der Sonnenschwingung) würde wahrscheinlich eine andere sein; er würde an einem Orte länger festgehalten werden, an einem anderen sich rascher verlieren, analog den Zuständen stabilen und labilen Gleichgewichtes.

3035. *Cap der guten Hoffnung.*[1]) — Dieser Ort liegt unter $18^0\ 33'$ östlicher Länge und $33^0\ 56'$ südlicher Breite. Die mittlere Declination ist 29^0 West und die Inclination $53^0\ 15'$ Süd. Aus dem Betrage der Inclination und der Lage des Ortes ergiebt sich, dass der magnetische Aequator nahezu durch die astronomischen Pole geht, und so schneidet ihn die Sonnenbahn fast unter einem rechten Winkel in jedem Theile des Jahres und zu derselben Stunde, nämlich $20'$ nach 7^h Morgens und Abends oder um $19^h\ 20'$ und $7^h\ 20'$. Aber in Folge der starken Declination erreicht die Sonne den astronomischen Meridian im Winter zwei Stunden und im Sommer eine halbe Stunde und darüber früher als den magnetischen Meridian.

3036. Die Sonne geht schief durch die Hauptquadranten und ziemlich gleichmässig quer durch ihre centralen Theile; aber wegen der west-

---

[1]) Siehe die Tabellen pp. 287, 288 und die Variationscurven Taf. II.

lichen Richtung der Declination ist sie dem Cap im östlichen Quadranten in allen Monaten näher als im westlichen, und daher muss der Vorgang, d. h. die Bewegung westwärts vor dem Beginn der Mittagsschwingung stärker sein als die Bewegung ostwärts, nachdem letztere vorüber, wie es auch wirklich der Fall ist. Dies steht in schönem und auffallendem Gegensatz zu Greenwich, welches bei gleichartiger und nahezu gleich grosser mittlerer Declination nördlich von der Sonnenbahn liegt, so dass die Sonne seinen magnetischen Meridian vor 12 Uhr durchschreitet und sich dann noch einige Zeit dem Orte nähert. Der Erfolg davon ist gerade der umgekehrte Vorgang wie beim Cap; denn die ostwärts gerichtete Wirkung am Ende der Mittagsschwingung ist stärker als die ihr vorangehende westwärts gerichtete, wie aus den in Tafel II mitgetheilten Curven zu ersehen ist.

3037. Wählen wir den Juli als den Monat, in welchem der winterliche Einfluss am Cap auftritt, so sehen wir, dass die Tagesschwingung sehr schwach ist, wie es auch sein muss, da die Sonne im nördlichen Wendekreise, somit weit entfernt ist. Die östliche Schwingung ist um 3 Uhr zu Ende, nachdem die Sonne schon etwa eine Stunde vorher durch den magnetischen Meridian gegangen ist. Das obere oder nördliche Ende der Nadel bewegt sich nun zwei Stunden lang westwärts, folgt also der Sonne bis 5 Uhr, wenn diese am Cap schon niedrig steht und ihrem Untergange nahe ist. Hierauf geht das Nadelende nach West, bis 10^h langsam, dann bis Mitternacht ein wenig schneller (die mittlere Lage um 11^h durchschreitend), noch schneller bis 16^h oder 17^h und abermals schneller bis 19^h, zu welcher Zeit es seine äusserste Ostlage erreicht. Dieser Vorgang ist, glaube ich, durch die von Osten her um diese Stunden herankommende Kälte bedingt, die durch ihren paramagnetischen Einfluss (3003) das Nadelende westwärts treibt. An der Erdoberfläche fällt das Kältemaximum in diesem Monat auf 17^h oder 18^h, und dieses Resultat stimmt, soweit es reicht, mit dem oben beschriebenen Vorgang überein. Um 19^h hemmt die aufgehende Sonne nicht nur die östliche Bewegung, sondern treibt die Nadel rasch wieder zurück, und diese geht nun rasch westwärts bis etwa um 23^h, um welche Zeit die Sonnenschwingung von West nach Ost beginnt, die, die tägliche Variation vervollständigend, um 2^h oder 3^h vorüber ist; hierauf geht die Nadel, wie vorher der Sonne folgend, nach West. In dieser Sonnenschwingung erblickt man den Einfluss der Neigung des magnetischen Meridians (3000); denn obschon die Sonne zu Anfang nur eine Stunde östlich vom astronomischen Meridian steht, befindet sie sich doch noch volle drei Stunden östlich vom magnetischen Meridian. Da die Schwingung ungefähr vier Stunden dauert, so ist das Wärmegebiet wahrscheinlich um $12^1/_2$ oder 1 Uhr dem magnetischen Meridian nahe.

3038. Im *Januar* ist am Cap Sommer. Die Tagesschwingung dauert alsdann von 21^h bis 1^h oder 2^h. Nach 2^h folgt das obere Nadelende

der Sonne bis 6^h nach West, bewegt sich hierauf während zweier Stunden ein wenig ostwärts, und dann wieder langsam nach West; der ganze Vorgang ist so, als ob das Kältegebiet im Osten aufgetreten, vorübergegangen und nach Westen fortgegangen wäre; dabei liegt die Temperatur an der Erdoberfläche innerhalb 2^0 vom Minimum. Dieser die Nadel nach West treibende nächtliche Effect (3004) schreitet langsam bis 15^h oder 16^h fort, mit ihm vereinigt sich das Steigen der Temperatur im Osten, wodurch das Nadelende noch bis 20^h nach West getrieben wird, um, nachdem es sein Maximum in dieser Richtung erreicht hat, um 21^h umzukehren und durch die Sonnenschwingung in die äusserste Ostlage getrieben zu werden; die Ablenkung ist doppelt so gross als die im Juli oder Winter des Caps.

3039. Ich glaube, das Obige ist eine richtige Erklärung der entgegengesetzten Bewegung der Nadel in den Monaten Juli und Januar oder dem Winter und dem Sommer des Caps. Im Winter macht sich der paramagnetische Einfluss der kalten Luft, da sie länger an der Ostseite des magnetischen Meridians verweilt, zwischen 12^h und 19^h geltend; mit ihrem Fortschreiten vereinigt er sich mit der Wirkung des Sonnengebiets, um die Nadel um 19^h westwärts zu treiben; denn die Wirkungen beider sind zwar entgegengesetzt, aber sie befinden sich auch an entgegengesetzten Seiten des magnetischen Meridians (3005). Im Sommer hat das Kältegebiet viel geringeren Einfluss, es tritt früher auf[1]) und geht rasch vorüber, da die Sommersonne hinter ihm ist, und es unterstützt dann vielmehr die Sonne in ihrer Wirkung, die Nadel nach West zu treiben.

3040. In einigen anderen Monaten macht sich der Einfluss des Sommers noch auffallender geltend. Im Februar legt die Nadel zwischen 21^h und 1^h eine Schwingung von West noch Ost durch einen Bogen von 8′ zurück; von 1^h bis 3^h ändert sich ihre Lage kaum; von 3^h bis 6^h folgt sie der Sonne nach West; von 6^h bis 16^h ändert sie ihre Lage nur wenig, zeigt um 8^h nur eine leise Spur einer Bewegung nach Ost und geht nach 16^h immer schneller und schneller nach West, so dass sie um 21^h die äusserste Westlage erreicht, um nach dem Vorübergang des Sonnengebietes zurückzuschwingen. Die anderen dazwischen liegenden Monate sind leicht zu verfolgen und zeigen sich in schöner Uebereinstimmung mit den Principien der Hypothese. Wie es einleuchtend ist, nimmt in fast allen Fällen jeder Monat in gewissem Grade an dem Charakter des vorhergehenden Theil, wiewohl am Cap nicht in demselben Maasse wie an einigen anderen Orten (3053). Die December- und Januarcurven gleichen einander mehr.

3041. Die Zeit der Sonnenschwingung erklärt ganz vortrefflich den Einfluss der Neigung des magnetischen Meridians (3000). Im November, December und Januar beginnt die Schwingung um 20^h und endet zwischen 1^h und 2^h. In diesen Monaten geht die Sonne ungefähr

---

[1]) Das Temperaturminimum tritt unten drei Stunden früher ein.

eine halbe Stunde früher durch den astronomischen Meridian als durch den magnetischen. Im October, Februar und März erfolgt die Schwingung später, von 21^h bis 2^h oder 3^h, denn dann geht die Sonne eine Stunde und darüber später durch den magnetischen Meridian als durch den astronomischen oder Zeitmeridian. Im September, April und Mai erfolgt die Schwingung noch später, von 22^h bis 2^h oder 3^h, denn nun dauert es noch länger, ehe die Sonne den magnetischen Meridian erreicht. Am spätesten erfolgt die Schwingung im Juni, Juli und August, nämlich von 23^h bis 3^h, und die Sonne erreicht in dem Verhältniss später den magnetischen Meridian. Was ich vom Durchgang der Sonne sage, das gilt natürlich auch von dem ihr vorangehenden Wärmegebiet, allein ich ziehe es vor, lieber von der sichtbaren Ursache als von ihrer unsichtbaren Wirkung zu sprechen, weil sie die Zeitbeziehungen in einem einfacheren Zusammenhang betrachten lässt.

3042. Die Inclination ändert sich am Cap im Laufe von vierundzwanzig Stunden in eigenthümlicher Weise, was, glaube ich, von ihrem mittleren Werthe bedingt ist. Es ist so, dass die Resultirende der Wärme- und Kältewirkung am Cap zuweilen oberhalb, zuweilen unterhalb der Inclinationsrichtung liegt, und dies nicht bloss zu verschiedenen Zeiten des Jahres, sondern in manchen Jahreszeiten, wie ich glaube, selbst zu verschiedenen Zeiten des Tages. Es dürfte viel Aufmerksamkeit verlangen, den ganzen Vorgang aufzuklären. Im Juni, Juli und August, wo die Sonne und ihr Wärmegebiet sehr nördlich vom Cap steht, scheint die Inclination mit dem Vorübergang des Gebiets zuzunehmen, woraus sich eine Drehung des oberen Nadelendes wie zu Hobarton (2909) ergeben würde; im November, December, Januar, Februar, März und April nimmt jedoch die Inclination ab und die resultirende Drehung ist entgegengesetzter Art, oder gleich der in St. Helena (3057) und Singapore (3061, 3067).

3043. Die täglichen Aenderungen der Intensität am Cap sind merkwürdig. In den Monaten October bis April hat sie ein Hauptmaximum um 19^h oder 20^h; um Mittag sinkt sie, so wie die Sonne vorübergeht, auf ein Minimum; allmählich steigt sie auf ein zweites Maximum gegen 4^h oder 5^h und erreicht, nachdem sie gegen 8^h oder 9^h ein wenig gefallen ist, das Hauptmaximum am nächsten Morgen gegen 18^h oder 19^h. In den Monaten Mai bis September tritt das Hauptmaximum um 21^h oder 22^h ein und ihm folgt um 1^h oder 2^h ein von dem Tageseffect bedingtes Minimum. Um 5^h tritt wieder ein Maximum ein und nach dreizehn Stunden und darüber das zweite Minimum, das fast ebenso niedrig ist als das erstere und nur drei Stunden vor dem Hauptmaximum liegt. Dieses Maximum liegt also den Minimis zu beiden Seiten nahe.

3044. Dies sind gerade die Monate, während welcher das obere Nadelende sich vom frühen Morgen bis 19^h ostwärts bewegt, und dies ist die Stunde, in welcher die Intensität ein Minimum hat. Von 18^h oder 19^h bis 21^h erhebt sich die Intensität zu einem Maximum, genau wie die Kraft-

linien sich vor dem Sonnengebiet westwärts bewegen, ehe sie rasch nach Ost zurückkehren; und mit ihrer raschen Rückkehr sinkt auch die Intensität wieder auf ein Minimum, das sie um 1^h oder 2^h erreicht, gerade wenn die Schwingung vorüber ist. Hier zeigt sich also ein sehr inniger Zusammenhang, und es ist bemerkenswerth, das Nadelende mit einem Minimum der Intensität um 18^h und um 1^h abermals im Osten zu sehen, wobei man sich zu erinnern hat, dass es in dieser Zeit eine Schwingung von Ost nach West und wieder zurück nach Ost ausgeführt hat.

3045. *St. Helena.*[1]) Diese Station ist von Sabine als eine höchst interessante bezeichnet worden, da sie, innerhalb der Tropen, der Linie der kleinsten Intensität nahe liegt und eine geringe magnetische Inclination hat.[2]) Er lenkte auch die Aufmerksamkeit auf die auffallende Thatsache, dass die Nadel in einigen Monaten in der einen Richtung und in anderen zu denselben Stunden des Tages in der entgegengesetzten Richtung wandert.[3]) De la Rive versuchte diese Thatsache zu erklären[4]), aber Sabine zeigte, dass dessen Erklärung nicht befriedigend ist.[5])

3046. St. Helena, eine kleine Insel im südlichen Atlantischen Ocean, unter 5^0 40′ westlicher Länge und 15^0 56′ südlicher Breite, liegt 1200 Meilen vom Festlande entfernt. Die mittlere Declination beträgt 23^0 30′ West, die mittlere Inclination 22^0 Süd. Daher kommen hier bei der Tageswirkung der Sonne drei Quadranten in Betracht, namentlich wenn dieselbe sich südlich vom Aequator befindet. Südlich von St. Helena selbst steht die Sonne im November, December, Januar und Februar oder ungefähr um diese Zeit, nördlich von der Insel während des übrigen Theiles des Jahres. Zu einer Zeit geht die Sonne eher durch den astronomischen Meridian als durch den magnetischen, und zu einer anderen Zeit ist das Umgekehrte der Fall. Abgesehen von diesen besonderen Umständen weist St. Helena grosse örtliche Verschiedenheiten auf, und die Inclination ist daselbst auch so niedrig, dass der Tageseffect der Sonne beständig dahin geht, sie herabzudrücken und zu verkleinern.

3047. Im Juni und Juli geht die Sonne zu St. Helena in dem südöstlichen Quadranten auf; etwa eine Stunde später tritt sie in den nordöstlichen Quadranten und durchschneidet ihn am südlichen Ende; sie befindet sich dann auf halbem Wege in dem Quadranten etwa auf einem Drittel der Länge oder nahezu 60^0 von dem südlichen Ende. Sie verlässt diesen Quadranten um $1^h\ 20^m$, durchschneidet um diese Zeit den magnetischen Meridian (also lange *nach* dem Durchgang durch den astronomischen), tritt

---

[1]) Siehe die Tabellen pp. 319, 320 und die Variationscurven Taf. II.
[2]) Magnetical Observations, St. Helena, 1840—1843.
[3]) Philosophical Transactions, 1847, p. 51.
[4]) Annales de Chimie et de Physique, March 1849, tome XXV, p. 310.
[5]) Proceedings of the Royal Society, May 10, 1849, p. 821.

in den dritten oder nordwestlichen Quadranten ein und durchschreitet ihn schief gegen das nördliche Ende. In unserem Winter, December und Januar, geht die Sonne zu St. Helena ebenfalls wie vorher in dem südöstlichen Quadranten auf, bleibt aber nunmehr bis 22^h in demselben, befindet sich also während eines grossen Theiles der Zeit an Orten starker Wirkung; darauf tritt sie in den nordöstlichen Quadranten südlich von St. Helena, in dem sie nicht zwei Stunden bleibt, und zwar befindet sie sich nur in den schwächsten Theilen desselben. Sie verlässt ihn, *bevor* sie den astronomischen Meridian erreicht, tritt dann in den nordwestlichen Quadranten ein, gleitet nahe seinem südlichen Ende dahin und geht nach etwa vierzig Minuten, nachdem sie ihn verlassen hat, für St. Helena unter.

3048. Da der Juni Bedingungen darbietet, welche denen eines südlicheren Ortes, wie Hobarton oder das Cap, am nächsten kommen, so will ich zuerst die Variationen in diesem Monat betrachten. Das nördliche oder obere Ende der Nadel befindet sich dann um Mitternacht oder 12^h in seiner mittleren Lage; es rückt nun (anfangs langsam) bis 16^h nach Ost vor, dann immer schneller und schneller bis 19^h, wo es stillsteht, um dann ebenso rasch bis 22^h nach West zu gehen; bis 3^h verändert es seine Lage wenig, dann bewegt es sich bis 5^h nach *West*, hierauf langsam bis 12^h nach Ost und endlich weiter, wie bereits gesagt, bis 16^h und 19^h. Die Bewegung nach Ost von Mitternacht ab und früher schreibe ich, wie in den früheren Fällen (3003, 3025, 3037), dem paramagnetischen Einfluss der von Osten her kommenden Kälte zu; die rasche Zunahme der östlichen Bewegung von 16^h bis 19^h steht im Einklang mit der wachsenden Kälte des frühen Morgens, sowie auch mit dem Umstande, dass alsdann die Sonne und das sie repräsentirende Gebiet aus dem südöstlichen in den nordöstlichen Quadranten tritt und nicht weit von der nentralen Linie sein kann; denn dies ist die Zeit des schnellsten Ganges der Nadel. Mit dem Vorrücken der Sonne in dem nordöstlichen Quadranten hört die nach Ost gerichtete Bewegung, wie um 19^h, zuerst auf und geht dann in eine westliche über (3014), die in Uebereinstimmung mit allen früheren Beobachtungen bis 22^h fortdauert; die Nadel bleibt alsdann bis 1^h ein wenig westlich von ihrer mittleren Lage, zu welcher Zeit sie noch nicht den magnetischen Meridian erreicht hat, um nachher bis 3^h ein wenig ostwärts getrieben zu werden. Diesen Effect von 22^h bis 3^h betrachte ich als die Sonnenschwingung gegen Ost, und der Globus (2996) lehrt, glaube ich, dass der geringe Betrag der Declination in völligem Einklang steht mit den relativen Lagen St. Helena's und des Wärmegebiets, sowie mit denen der wirksamen und neutralen Theile der während dieser Zeit durchwanderten Quadranten. Von 3^h bis 5^h bewegt sich das Nadelende, der Sonne folgend, westwärts, und dies steht im Einklang mit der Ansicht, dass es die Sonne ist, die das vorhergehende Verbleiben der Nadel in einer östlichen Lage, von 22^h bis 3^h, bewirkt; die darauf von 5^h bis Mitternacht und darüber

hinaus erfolgende langsame Bewegung nach Ost ist eine Wirkung der eintretenden Kälte.

3049. Sabine hat gezeigt, dass die Monate Mai, Juni, Juli und August in eine Gruppe zusammengefasst werden können, und daher will ich nicht einzeln von ihnen reden. Sie weisen einerseits Analogien untereinander und andererseits Uebergänge zu und von anderen Monaten auf. Betrachten wir den September. Von 7^h ab durch Mitternacht bis 16^h nimmt die Nadel nahezu ihre mittlere Lage ein. Von 16^h bis 18^h bewegt sich das obere oder nördliche Ende unter dem Einfluss der Frühmorgenkälte nach Ost. Dass dieser Einfluss eine Stunde früher als im vorigen Falle (3048) zur vollen Geltung kommt, steht in völligem Einklang mit den Principien, denn die Bahn der Sonne und ihres diamagnetischen Gebiets ist der Station nun weit näher als vorher, da sie nun am Aequator steht. Von 18^h bis 22^h treibt sie das Ende in Uebereinstimmung mit allen früheren Beobachtungen westwärts, dann erfolgt zwischen 22^h und 24^h die Sonnenschwingung von West nach Ost, und die Nadel wird noch eine Stunde länger in der äussersten Ostlage gehalten. Die Kürze der Zeit dieses Ueberganges ist, glaube ich, ein Gegenstand von Interesse. Die Sonne ist noch nördlich von St. Helena, aber sie ist nun um so viel näher, dass sie *denselben Winkel* von Ost nach West in Bezug auf den Beobachtungsort in weniger als der Hälfte der Zeit wie früher im Juni (3041) durchläuft. Hierauf wandert das Nadelende, wie in anderen Fällen der Sonne folgend, von 1^h bis 6^h westlich, von 6^h bis 9^h unter dem Einfluss der Abendkälte ein wenig östlich und bleibt der mittleren Lage nahe, bis die stärkere Kälte vor Sonnenaufgang (3005, 3011) sie zwischen 16^h und 18^h des anbrechenden Tages weiter ostwärts führt.

3050. Ein Blick auf die Variationscurven (Taf. II) zeigt, dass die Curve für den nächstfolgenden Monat, October, dadurch merkwürdig ist, dass sie bei gleichem Charakter wie die Septembercurve, doch weit von ihr absteht, und dies scheint davon herzurühren, dass die Sonne nun die Breite von St. Helena, wenn auch nicht ganz, doch beinahe erreicht hat. Meiner Voraussetzung gemäss hat hier ein schwacher nächtlicher Effect stattgefunden (3010); und um Mitternacht befindet sich die Nadel in der mittleren Lage und ist in langsamer Bewegung nach West begriffen zu der Zeit, da die stärkere Kälte vor Sonnenaufgang im Osten ins Spiel tritt, dem Fortschreiten nach West entgegenwirkt und es aufhält, ja sogar wie vorher die Nadel einige Stunden lang, bis 18^h, ein wenig nach Ost treibt. Selbst das Sonnengebiet ist um 16^h in dem Quadranten (dem südöstlichen), wo es, wenn es auf die Nadel wirken könnte, im Verein mit der Kälte im nächsten oder nordöstlichen Quadranten die Nadel ostwärts treiben würde. Um 18^h sind das vorangehende Kältegebiet und das nachfolgende Sonnengebiet so weit in ihren respectiven Quadranten vorgerückt, dass ihr Zusammenwirken das Nadelende wie vorher bis 20^h westwärts treibt, und

dann erfolgt die Schwingung von West nach Ost bis 24^h. Warum diese früher beginnt, länger dauert und viermal grösser ist als die Septemberschwingung, scheint davon herzurühren, dass das Sonnengebiet bis zur Breite von St. Helena herumkommt und somit in Bezug auf den magnetischen Meridian kräftiger, früher und länger wirkt, dass es auch, weil die mittlere Declination westlich ist, Punkte gleichen Abstandes vom magnetischen Meridian früher erreicht, sowie diesen selbst früher durchschreitet, endlich auch seiner Wirkung sich der Einfluss früherer Monate (3053) hinzufügt.

3051. Um 1 Uhr beginnt die Nadel aus ihrer äussersten Ostlage umzukehren, also früher als in den vorhergehenden Monaten, weil der magnetische Meridian früher durchschritten wird, und folgt bis 4^h der Sonne, worauf sie stillsteht; dann treibt die von der im Osten auftretenden Kälte bedingte Abend- oder Nachtwirkung die Nadel bis 10^h zurück nach Ost, die mit dem Vorrücken der ersteren in dem Quadranten abermals umkehrt (3004), bis sie zwischen 12^h und 13^h ihre mittlere Lage erreicht. Das Kältegebiet scheint sie dann bis 16^h westwärts zu treiben, mit seiner Entfernung lässt die Wirkung auf die Nadel nach, und diese kehrt bis 18^h nach Ost zurück, wo sie jedoch noch westlich von ihrer normalen Lage ist; das herankommende Sonnengebiet, vielleicht unterstützt von der ihr unmittelbar vorausgehenden Kälte, die nun wahrscheinlich im magnetischen Meridian oder jenseits desselben ist, treibt sie vor der Sonnenschwingung nach West.

3052. Im December und Januar ist die Sonne südlich von der Station. Dies macht im allgemeinen Charakter der Curve für diese Monate keinen Unterschied, darf es auch der Hypothese zufolge nicht, ausgenommen, dass die Sonne, obwohl sie St. Helena sehr nahe ist und ihrer eigenen Wirkung um diese Zeit sich der Einfluss der vorhergehenden Monate (3050, 3053) hinzufügt, sich doch in schwächeren Theilen des Quadranten befindet und in dem Hauptsegment fast die Ecke und beinahe den Ort einnimmt, wo die beiden neutralen Ebenen einander schneiden; daher muss auch ihre Wirkung schwächer sein und ist es wirklich; denn die Sonnenschwingung des Novembers und Februars ist grösser als die des Decembers und Januars. Die Sonnenschwingung erfolgt im December zur selben Zeit wie im October, obwohl die Sonne in letzterem Monat den magnetischen Meridian nach und in ersterem vor Mittag durchschreitet; allein der Unterschied beträgt nur eine halbe Stunde, und die Beobachtungen sind vielleicht nicht zahlreich genug, um ihre besondere Wirkung aus einem Intervall von vier Stunden absondern zu dürfen. Ueberdies mögen accumulative Ursachen störend einwirken. Die Orte der Decembercurve liegen allesammt ein wenig westlicher als die der Octobercurve.

3053. Der *hinzutretende* Effect vorhergehender Monate ist sehr wichtig und zeigt sich deutlich bei St. Helena (3050). Vergleicht man beispielsweise die Septembercurve mit der des Octobers, also des folgenden Monats, so findet man einen grossen Unterschied von gewisser Art, und ein anderer

auffallender Unterschied zeigt sich bei Vergleichung des Septembers mit dem Monat, in welchem die Sonne nicht nach dem südlichen Wendekreise hingeht, sondern von ihm zurückkehrt und dieselbe Stellung wie im October erreicht hat. Für den zweiten Vergleich ist der März der nächste Monat. Bis zu 20^h verändert sich seine Curve wie die des October, aber das obere Ende der Nadel ist in der ganzen Zeit etwa eine halbe Minute östlich von seinem Orte im October. Im October beginnt die Nadel ihre Schwingung von Westen aus um 20^h und erreicht die äusserste Ostlage um 24^h; im März bewegt sie sich bis 21^h westwärts, kehrt dann um und erreicht die äusserste Ostlage um 1^h, so dass die Schwingung eine Stunde später erfolgt, und während dieser Zeit ist das Nadelende eine halbe bis ganze Minute (im Bogenmaass) westlicher als im October. Dieser Unterschied rührt, glaube ich, von der additiven Wirkung der Monate zwischen October und März, während welcher Zeit die Wärme auf der nördlichen Halbkugel abnimmt und auf der südlichen zunimmt. Aehnliche Resultate in anderen Monaten machen es wahrscheinlich, dass der Einfluss der Atmosphäre, obwohl durch die Sonne hervorgerufen, doch hinter derselben in ihrem jährlichen Laufe zurückbleibt, und dass daher diese bei ihrer Annäherung an einen Wendekreis weniger, und bei ihrer Entfernung von einem Wendekreise mehr zu bewirken scheint, als von ihrer jedesmaligen Stellung bedingt ist.

3054. Allein auch wo die Umstände anscheinend gleich sind, zeigt sich ein Unterschied. So würde man vom März bis April Gleichheit in der einen Richtung und vom September bis October Gleichheit in der anderen Richtung erwarten, mit Ausnahme der geringen beiderseits auftretenden Verzögerung (3053), nichtsdestoweniger liegen in Sabine's Curven März und April *zwischen* September und October und nahe bei einander, während die beiden anderen weit von einander abstehen. Ich schreibe dies den verschiedenen Wärmezuständen der beiden Erdhälften zu (Dove). Von September bis October geht die Sonne von der einen Halbkugel fort, deren mittlere Sommertemperatur die Wintertemperatur der anderen um $17^0,4$ übertrifft; aber im März und April ist die mittlere Sommertemperatur der Hemisphäre, welche sie verlässt, nur $10^0,7$ höher als die Wintertemperatur der anderen (2949), und diese respectiven Unterschiede müssen dahin gehen, September und October von einander zu trennen und März und April zusammenzubringen, wie es auch die Curven, Taf. II, erweisen.

3055. Ich brauche auf die Declinationsänderungen zu St. Helena nicht weiter einzugehen, da von den Linien der übrigen Monate die bereits gemachten Bemerkungen gelten. Sabine's wichtige Frage über die Ursache der Verschiedenheit der Richtung in verschiedenen Monaten (3045) scheint mir nunmehr für diese Station sowohl als auch für die übrigen unter sehr verschiedenen Breiten gelegenen Stationen, wo dieselbe sich geltend macht (3016, 3022, 3039), beantwortet zu sein.

3056. Die tägliche Aenderung der *Inclination* zu St. Helena hat einen sehr einfachen Gang zu einem Maximum um 7^h und zu einem Minimum um 22^h und 23^h. Sie geht also zu ihrem Minimum in der Sonnenschwingung, d. h. das obere Nadelende geht nach West und senkt sich von 16^h bis 19^h oder 20^h, die Inclination nimmt also während dieser Zeit ab; dann kehrt sie nach Ost zurück, bis sie ihre neutrale Lage erreicht, während die Inclination noch weiter abnimmt. Die Nadel setzt ihren Weg nach Osten zur Vollendung der Sonnenschwingung fort, aber nun wächst die Inclination; um 24^h oder 1^h kehrt die Nadel (was die Declination betrifft), bei weiterer Zunahme der Inclination, der Sonne folgend, nach West zurück; um 5^h oder 6^h hat die Bewegung nach West fast aufgehört und eine Stunde später ist die Inclination ein Maximum.

3057. Sowie die Sonne und ihr Gebiet vorübergehen, verringern sie die Inclination durch Depression der oberen Enden der Kraftlinien, und wenn sie sich entfernen, so erheben sich die Linien (2926, 2937) und die Inclination nimmt zu. Die Ellipse oder Curve, welche die Bewegung des oberen Endes der Nadel zu St. Helena darstellt, ist also, sowie die Sonne von Osten heraufkommt, oben westwärts und sich nach unten hin neigend, hinten unten nach Ost gerichtet; dann erhebt sie sich, um sich in den nächsten vierundzwanzig Stunden zu wiederholen. Die Richtung ist die umgekehrte von der Ellipse, welche den Gang der Nadel zu Hobarton darstellt, das gleichfalls eine stärkere südliche Inclination hat. Dies steht jedoch in völligem Einklang mit der Hypothese; denn da das Gebiet in der oberen Luftregion befindlich ist, so liegt es über dem Winkel, welchen die Inclination mit dem Horizont zu St. Helena macht, und muss daher die Kraftlinien herabdrücken und die Inclination verringern. Zu Hobarton liegt das Gebiet in den tropischen Theilen, also innerhalb des Winkels, welchen die Inclinationsrichtung mit dem Horizont bildet, lenkt demnach die Kraftlinien nach oben hin ab und *vergrössert* die Inclination, und so haben die beiden Theile der Ellipse an den beiden Orten, welche hinsichtlich der Declination der Zeit und Richtung nach einander entsprechen, entgegengesetzte Aenderungen der Inclination.

3058. *Singapore*.[1]) — Dies ist eine sehr interessante Station, weil sie bei 103^0 53′ östlicher Länge nur unter 1^0 16′ nördlicher Breite, also nahe dem Aequator liegt. Auch beträgt ihre Declination nur 1^0 40′ E. und ihre Inclination 12^0 S. Sie befindet sich auch nahe der rings um die Erde gehenden Linie kleinster Intensität. Der magnetische Aequator der Nadel ist fast parallel dem Erdäquator und die Vertheilung der Quadranten (2929) ist eine sehr einfache, indem der magnetische und astronomische

---

[1]) Siehe die Tabellen pp. 289, 290 und die Variationscurven Taf. II. Die Data für Singapore sind den neuen, sehr werthvollen Arbeiten von Elliot entnommen.

Meridian beinahe zusammenfallen. In unserem Sommer geht die Sonne bei Tage durch den östlichen und westlichen Nordquadranten, in unserem Winter durch den östlichen und westlichen Südquadranten und in gewissen Monaten durch alle vier Quadranten, fast der neutralen Linie des magnetischen Aequators folgend.

3059. Wenn daher die Kraftlinie frei wäre, d. h. nicht in der Erde festgehalten würde (2919), so würden wir der Hypothese zufolge wenig oder gar keine Aenderung der Nadel zu erwarten haben, insbesondere nicht in den Monaten, in denen die Sonne über dem magnetischen Aequator steht. Allein da eine Inclination vorhanden ist, und die Kraftlinien, welche die Nadel beherrschen, gegen Süden hin an die Erde gekettet sind (2929), während sie sich in der Luft und im Raume gegen Norden frei bewegen können, so findet eine Aenderung der Declination sowohl als auch der Inclination in vollkommen übereinstimmender Weise statt; und wenn wir uns dies gegenwärtig halten, so werden wir, glaube ich, keine Schwierigkeit haben, die Monatsresultate an der Hand der Hypothese zu verfolgen.

3060. Zunächst gleichen die Tagescurven der Variation denen zu St. Helena für jeden Monat so sehr, dass die für diese angestellte Discussion auch für den vorliegenden Fall genügen wird (3048). Die Sonnenschwingung erfolgt zu derselben Zeit, und es zeigen sich auch die, wie ich annehme, von dem Charakter der beiden Hemisphären abhängigen Folgen (3054, 2949). In dem letzteren Theile der Sonnenumdrehung, sowie in den Nachtstunden von 5^h bis 14^h sind jedoch auffallende Verschiedenheiten vorhanden. Die Variation erscheint gering, aber dies rührt hauptsächlich von dem Umstande her, dass die Horizontalebene, an der wir sie ablesen, fast mit der freien Nadel zusammenfällt, und daher ist die oben (3009 Anm.) erwähnte Correction, die nothwendig ist, um den wahren Werth der Variation zu erhalten, hier sehr klein.

3061. Betrachten wir, wie bei St. Helena, zunächst den *Juni*, so bewegt sich das obere Nadelende wie zuvor unter dem Einfluss der Morgenkälte bis 19^h nach Ost, steht dann still, wird darauf von der Sonne bis 22^h nach West getrieben, schwingt alsdann herab und unten nach Ost bis 3^h, um hierauf der Sonne bis 7^h nach West zu folgen, worauf es wiederum stillsteht und umkehrt, unter dem Einfluss der herankommenden Kälte (3065) mehr und mehr nach Ost schleichend. Im Juli ist die östlich gerichtete Bewegung der Nadel vor 19^h etwas stärker, geht bis 23^h nach West und dann bis 4^h nach Ost. Die Sonnenschwingung erfolgt also eine Stunde später als im Juni, was, glaube ich, mit der Anhäufung der Wärme über dem Lande zusammenhängt (3054), sowie mit dem verzögernden Einfluss der Sonne (3053). Im August geht das Nadelende bis 19^h nach Ost, und zwar weiter als im Juli, ja als in allen übrigen Monaten; dann macht es vor der Sonne einen weiten Bogen nach West bis 23^h, worauf die Sonnenschwingung eintritt und bis 5^h dauert, wie wenn das Wärmegebiet hinter

der Sonne wäre, vielleicht gar 2 Stunden. Die Dauer der Schwingung ist stark verlängert, und das hat seinen natürlichen Grund, da der Ort am Aequator und demnach unter der Sonne liegt. Im September ist die Bewegung nach Ost und nach West sowie die Sonnenschwingung geringer. Der April ist dem September gleich, ausgenommen dass der letztere den Einfluss der vorher erwärmten Halbkugel aufweist (3053).

3062. In vier Monaten des Jahres, November, December, Januar und Februar, steht die Sonne südlich von Singapore und während des Tages ganz in dem südlichen Quadranten (3058). Da die Sonne um 16^h oder 17^h aufgeht, so bewegt sich das obere Ende der Kraftlinie (dessen unteres in der Erde festliegt) bis 19 oder 20^h westwärts. Um diese Zeit befindet sich die Sonne in dem südöstlichen Quadranten, und man dürfte wohl erwarten, dass, wenn überhaupt eine Aenderung stattfände, die Bewegung des nördlichen oder oberen Endes der Nadel nach Ost gerichtet wäre. Indess lässt die Hypothese mehrere Gründe erkennen, weshalb dies nicht der Fall sein kann. Denn zunächst müsste die Inclination Null sein, und selbst wenn dies der Fall wäre, so steht ferner die Sonne der neutralen Linie des magnetischen Aequators so nahe, dass die Ablenkung jedenfalls nur sehr klein sein könnte. Andererseits haben die Kraftlinien eine südliche Neigung, und da sie in der Erde festliegen, so kann die Wanderung der Sonne längs der neutralen Linie, welche bei ihrem Heranrücken die ganze Kraftlinie nach West abgelenkt und so keine Declinationsänderung hervorgebracht haben würde, nur die nördlichen Theile, die sich von der Erde erheben und mit dem allgemeinen Liniensystem fortgeführt werden, nach Westen treiben und so den westlichen Gang der Nadel bewirken, der wirklich eintritt. Ueberdies hat man, selbst wenn die Sonne südlich von dieser neutralen Linie und auch von Singapore steht, Grund zu vermuthen, dass die Mitte oder Resultirende des warmen Gebietes sogar von beiden nördlich ist (3063), was die eben beschriebene westliche Bewegung der Nadel unterstützen würde.

3063. Dove's Resultate zeigen, dass die nördliche Halbkugel, als Ganzes, wärmer ist als die südliche (2949). Ferner lehrt uns ein Blick auf den Meridian von Singapore, dass im Norden weit mehr Land vorhanden ist als im Süden, so dass dort die Temperatur höher sein kann; und selbst aus den Tabellen der örtlichen Temperatur von Singapore erkennen wir, dass daselbst Mai, Juni, Juli und August die heissesten, November, December, Januar und Februar die kältesten Monate sind, und alldies lässt uns vermuthen, dass das Wärmegebiet der Atmosphäre relativ nördlich von dem Sonnenort und vielleicht gar von Singapore liegt (3067).

3064. Um 20^h beginnt die Sonnenschwingung von West nach Ost und dauert bis 2^h, worauf die Nadel, der Sonne folgend, sich bis 10^h oder 11^h nach West bewegt, um welche Zeit sie der Mittellage nahe kommt; sie geht darauf noch sehr langsam weiter westlich bis 17^h, wo sie unter dem

Einfluss der Morgensonne rascher nach West getrieben wird, bis etwa um 20^h die östliche Sonnenschwingung eintritt. Die Curve für diese Monate ist von sehr einfachem Charakter; die Nacht- oder Kältewirkung scheint klein zu sein und äussert sich mehr in einer Hemmung als in einer deutlichen Bewegung nach Osten.

3065. Die östliche Bewegung des Nadelendes im Mai, Juni, Juli und August und die westliche im November, December, Januar und Februar um dieselben Stunden bis 19^h zeigen einen auffallenden Gegensatz, und ich schreibe den Unterschied dem Einfluss des während der ersteren Monate aus Osten kommenden Kältegebiets (3061) zu, das in den letzteren Monaten nicht eintritt. In Bezug hierauf haben wir ferner zu bedenken, dass das Wärmegebiet nördlich vom Aequator liegt (3063) und dass es mit der Bewegung der Sonne nach Nord und Süd gleichfalls fortrückt, sich aber doch nördlich von ihr hält. Daher stehen die beiden Kältegebiete, welche in höheren Breiten vor der Sonne in den Meridian gelangen (3006), nicht in derselben Beziehung zu Singapore, da das im Süden diesem Orte näher als das im Norden, oder in allen Fällen wirksamer sein wird. Wenn also die Sonne nahe und am südlichen Wendekreise steht, so geht das Wärmegebiet wahrscheinlich *über* Singapore hinweg und wird eben deshalb, seiner Nähe wegen, den unmittelbarsten und stärksten Einfluss haben, während die Kältegebiete die ungünstigste Lage und *schwächste* Wirkung äussern werden. Steht jedoch die Sonne am nördlichen Wendekreise, so ist der Einfluss des Wärmegebiets sowohl in Folge seiner Entfernung als auch seiner Richtung geschwächt, während das südliche Kältegebiet durch vermehrte Strenge und durch seine Nähe an Einfluss gewinnt und so die Bewegung nach Osten vor 19^h hervorbringt.

3066. Man wird auch einen auffallenden Unterschied in der Richtung der Nachtcurven von St. Helena und Singapore zwischen 5^h und 14^h bemerken. An ersterem Orte geht das Nadelende zuerst nach Ost und dann nach West, während es sich an letzterem zuerst nach West und dann nach Ost bewegt. Der Unterschied rührt, glaube ich, davon her, dass die Nachtwirkung zu St. Helena in grösserer Ausdehnung auftritt als zu Singapore. Singapore weist diesen Einfluss, wie eben beschrieben (3065), im Juni, Juli und August, doch nur in einem schwächeren Grade und zu einer späteren Stunde auf. In St. Helena, das unter 16^0 südlicher Breite liegt, muss der Kälteeinfluss aus den oben (3065) angegebenen Gründen in stärkerem Maasse auftreten, und daher erfolgt die östliche Bewegung um 6^h und später. Dass dies die Ursache sei, lässt sich auch in gewissem Grade aus den Temperaturtabellen ableiten; denn während zu Singapore der Unterschied zwischen dem Maximum und Minimum im Laufe von vierundzwanzig Stunden nur 3^0 bis 4^0 beträgt, beträgt er in St. Helena $4^0{,}5$ bis 7^0 und vier Fünftel oder gar fünf Sechstel dieser Depression erfolgt um 9 Uhr, so dass also vier oder fünf Stunden vorher ein Kältegebiet im Osten heranrückt und die in den Curven verzeichnete östliche Bewegung bewirkt.

3067. Die Aenderung der *Inclination* zu Singapore ist sehr einfach und so, wie es sich nach der Hypothese erwarten lässt; die Sonne oder das Wärmegebiet befindet sich beim Durchgang durch den Meridian immer über den Linien und drückt sie herab. Die Inclination ist in allen Monaten gleicherweise bei Nacht am grössten und am Mittag am kleinsten; von 8^h bis 18^h bleibt sie sich nahezu gleich; mit dem Heraufkommen der Sonne nimmt sie rasch ab bis 23^h oder 24^h, worauf sie, wenn die Sonne fort ist, fast ebenso rasch bis 7^h oder 8^h zunimmt. Der Betrag der Aenderung ist am grössten, wenn die Sonne über oder südlich von Singapore steht, am kleinsten im Juni und Juli, wenn die Sonne dem nördlichen Wendekreise nahe ist. Im December und Januar, wo die Sonne dem südlichen Wendekreise nahe steht, ist die Aenderung erheblich grösser als im Juni und Juli, was wiederum zu zeigen scheint, dass das Wärmegebiet hauptsächlich im Norden der Sonne liegt (3063).

3068. Die Aenderung der Totalintensität ist einfach; sie ist von 9^h bis 12^h im Maximum und um 22^h bis 23^h, also gegen Mittag im Minimum. Die stärkste Aenderung erfolgt im April und October oder zur Zeit der Nachtgleichen, die kleinste im December und Juni, wo die Sonne in den Wendekreisen steht. Die Intensität ist am kleinsten gegen Mittag, wo meiner Annahme zufolge die Leitung der oberen Luft am schlechtesten ist und daher ein Magnet darin eine grössere Stärke zeigen muss. Allein wie dies auf die Curven unten, an der Erdoberfläche, wo sie dicht zusammengedrängt sind, einwirken mag, ist zweifelhaft, wie denn Alles, was die Intensität betrifft, zu unsicher ist und mir zu verwickelt erscheint, als dass ich hier mit Nutzen darauf eingehen könnte.

3069. Ich hoffe bald zur Erläuterung und Prüfung der von mir aufgestellten Ansicht über die physikalische Ursache der magnetischen Variationen weitere experimentelle Data zu geben, die ich mit der Differentialwage zu erhalten hoffe, und die die Wirkung des Sauerstoffs betreffen, die magnetischen Kraftlinien unter verschiedenen Umständen abzulenken.

Royal Institution,
16. November 1850.

Cap der guten Hoffnung. — Länge 18^0 30′ E. Breite 33^0 56′ S. Declination 29^0 5′ W. Inclination 53^0 15′ S.

Mittlere tägliche Variation der Declination in den Monaten der Jahre 1841 bis 1846.

Wachsende Zahlen bedeuten eine Bewegung des nördlichen oder oberen Endes des Magnets nach Ost.

Mittlere Zeit	Mittag 0^h	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h	6^h	7^h	8^h	9^h	10^h	11^h	Mitternacht 12^h	13^h	14^h	15^h	16^h	17^h	18^h	19^h	20^h	21^h	22^h	23^h	Tägliches Mittel
Januar	4.11	5.43	5.50	5.04	4.64	4.29	3.96	4.16	4.43	4.36	4.27	4.13	3.98	3.79	3.56	3.32	3.09	2.67	2.01	1.15	0.37	0.36	1.39	2.93	3.28
Februar	5.51	7.48	8.21	7.86	7.06	6.11	5.74	5.83	5.90	5.82	5.74	5.69	5.78	5.73	5.55	5.50	5.38	5.27	4.90	3.36	1.26	0.00	0.82	2.96	4.93
März	5.34	6.74	7.29	6.93	6.17	5.48	5.32	5.33	5.42	5.39	5.28	5.40	5.34	5.52	5.59	5.54	5.52	5.39	4.95	3.22	1.04	0.02	1.26	3.44	4.66
April	4.07	5.00	4.76	4.21	3.75	3 53	3.42	3.39	3.44	3.45	3.51	3.56	3.53	3.98	3.96	4.07	4.17	4.32	4.15	3.29	1.32	0.00	0 39	0.06	3.30
Mai	1.83	2.49	2.81	2.92	2.50	2.15	2.17	2.31	2.33	2.30	2.45	2.41	2.64	2.83	2.87	3.10	3.24	3.36	3.80	3.91	2.31	0.68	0.00	0.62	2.42
Juni	0.74	1.27	1.87	1.87	1.36	1.05	1.11	1.19	1.24	1.34	1.49	1.63	1.74	2.00	2.04	2.25	2.22	2.28	2.59	3.21	2.38	0.86	0.00	0.10	1.58
Juli	0.60	1.18	1.96	2.09	1 54	1.06	1.06	1.09	1.19	1.31	1.46	1.74	2.03	2.22	2.23	2.32	2.46	2.61	3.08	3.56	2.74	1.35	0.28	0.02	1.71
August	0.62	1.52	2.50	3.23	2.93	2.22	2.27	2.34	2.46	2.56	2.49	2.64	2.77	2.91	3.01	3.32	3.45	3.63	4.35	4.98	3.65	1.74	0.36	0.00	2.71
September	1.58	2.64	3.22	3.27	2.94	2.57	2.64	2.73	2.75	2.76	2.82	2.84	2.91	3.05	3.06	3.19	3.22	3.36	4.33	4.10	2.43	0.84	0.00	0.49	2.65
October	4.90	5.81	5.96	5.23	4.29	3.69	3.84	4.05	4.09	4.17	4.18	4.16	4.16	4.15	3.96	3.79	3.63	3.40	2.78	1.37	0.14	0.00	1.27	3.18	3.59
November	5.19	6.15	6.36	5.98	5.43	4.98	5.08	5.26	5.32	5.39	5.37	5.37	5.34	5.13	4.84	4.55	4.15	3.41	2.05	0.68	0.00	0.57	2.19	3.88	4.28
December	4.64	5.48	5.51	5.08	4.47	4.41	4.24	4.42	4.54	4.60	4.66	4.67	4.62	4.36	4.07	3.74	3.38	2.63	1.42	0.39	0.04	0.55	2.05	3.56	3.62

Mittlere tägliche Variation der Inclination in den einzelnen Monaten des Jahres von April 1841 bis Juni 1846. Wachsende Zahlen bedeuten Zunahme der Inclination. Inclination 53^0 15′ S.

Januar	0.03	0.00	0.34	0.56	0.72	1.00	1.25	1.35	1.46	1.51	1.50	1.41	1.37	1.40	1.30	1.22	1.18	1.10	0.94	0.99	0.97	0.92	0.66	0.23	0.98
Februar	0.13	0.00	0.44	1.05	1.55	1.91	2.01	2.14	2.14	2.09	2.94	1.94	1.70	1.63	1.65	1.56	1.63	1.70	1.66	1.94	2.26	2.08	1.45	0.66	1.56
März	0.11	0.00	0.46	1.05	1.45	1.86	2.09	2.21	2.16	2.02	1.94	1.79	1.79	1.46	1.35	1.46	1.45	1.50	1.51	1.69	1.81	1.66	1.00	0.41	1.38
April	0.00	0.49	1.05	1.55	1.76	1.89	2.16	2.21	2.11	2.06	1.88	1.65	1.45	1.18	1.18	1.07	1.22	1.12	1.10	1.10	1.48	1.53	0 92	0.33	1.35
Mai	0.00	0.38	0.70	0.86	1.08	1.16	1.27	1.31	1.49	1.59	1.39	1.32	1.16	0.89	0.93	0.89	0.76	0.68	0.30	0.15	0.53	0.66	0.56	0.12	0.84
Juni	0.41	0.53	0.58	0.76	0.64	0.79	0.96	1.22	1.34	1.40	1.29	1.22	1.04	0.96	0.89	0.81	0.73	0.78	0.36	0.00	0.07	0.38	0.36	0.43	0.75
Juli	0.62	0.64	0.59	0.64	0.77	0.87	1.18	1.20	1.46	1.43	1.43	1.21	1.07	0.95	0.77	0.87	0.67	0.60	0.28	0.00	0.18	0.51	0.64	0.56	0.80
August	0.12	0.38	0.76	0.99	1.16	1.27	1.34	1.60	1.55	1.52	1.45	1.30	1.16	1.04	0.84	0.83	0.63	0.68	0.27	0.00	0.13	0.33	0.43	0.30	0.84
September	0.00	0.23	0.66	1.09	1.40	1.65	1.78	1.68	1.75	1.75	1.40	1.27	0.91	0.97	0.56	0.81	0.51	0.73	0.18	0.31	0.07	0.35	0.03	0.12	0.84
October	0.00	0.08	0.53	1.17	1.75	1.98	1.98	1.89	1.88	1.75	1.60	1.50	1.28	1.23	1.20	1.10	1.09	1.07	1.07	1.09	1.04	0.77	0.36	0.05	1.14
November	0.14	0.00	0.29	0.64	1.12	1.53	1.41	1.46	1.48	1.33	1.25	1.08	0.99	0.94	0.90	0.87	0.87	0.94	0.80	0.62	0.46	0.26	0.06	0.00	0.81
December	0.13	0.30	0.87	1.22	1.40	1.53	1.78	2.01	2.04	1.81	1.70	1.57	1.50	1.48	1.47	1.50	1.50	1.40	1.05	0.81	0.48	0.15	0.02	0.00	1.15
Mittel	0.14	0.25	0.61	0.96	1.23	1.45	1.60	1.69	1.74	1.69	1.49	1.44	1.28	1.18	1.09	1.08	1.02	1.02	0.79	0.72	0.79	0.80	0.54	0.27	1.04

Cap der guten Hoffnung. — Mittlere tägliche Variation der Intensität in jedem Monat des Jahres von April 1841 bis Juni 1846.
Wachsende Zahlen bedeuten Zunahme der Intensität.
Die Zahlen drücken die Aenderung in Bruchtheilen der ganzen Intensität aus. Angenäherte Totalintensität 7,5.

Mittlere Zeit	Mittag 0^h	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h	6^h	7^h	8^h	9^h	10^h	11^h	Mitternacht 12^h	13^h	14^h	15^h	16^h	17^h	18^h	19^h	20^h	21^h	22^h	23^h	Tägliches Mittel
	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Januar . .	000	003	018	031	041	047	048	039	036	038	040	044	045	047	049	050	052	061	071	079	078	056	028	005	042
Februar .	000	000	020	047	069	083	076	072	068	069	071	071	074	075	078	076	077	080	092	115	127	105	062	026	068
März . . .	000	007	027	052	070	079	074	069	064	064	067	066	070	068	066	068	068	068	081	103	119	094	047	011	063
April . . .	000	017	040	058	070	071	068	065	060	059	059	060	060	059	060	063	061	060	065	083	102	093	059	021	059
Mai	003	000	008	019	036	038	035	028	025	023	021	021	022	020	020	019	019	018	013	026	056	063	050	020	025
Juni. . . .	008	000	003	015	029	030	026	021	017	014	017	010	010	007	009	007	010	008	004	003	030	041	039	017	015
Juli	009	004	005	016	032	033	026	023	018	013	010	007	007	007	008	009	008	007	000	005	027	043	041	023	016
August . .	028	013	007	010	028	035	029	024	019	016	017	016	016	016	017	013	013	009	000	009	044	061	064	044	023
September	007	000	005	015	023	028	021	017	013	012	013	012	019	015	020	014	019	008	005	018	051	057	050	023	019
October. .	000	009	033	057	070	064	053	047	045	047	047	049	051	055	056	056	056	060	073	088	084	060	025	005	050
November	000	005	021	038	049	057	048	044	043	044	044	047	050	053	056	057	052	074	090	096	082	054	022	007	047
December	000	003	015	029	037	035	034	030	027	026	028	031	035	036	038	042	047	060	074	076	066	042	013	000	034
Mittel . .	005	005	017	032	046	050	045	040	036	035	036	036	038	038	040	040	040	043	047	058	072	064	042	017	461

Mittlere Temperatur der Luft in Graden Fahrenheit von April 1841 bis Juni 1846 einschliesslich.

	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Januar . .	73.16	73.30	73.03	72.43	71.52	70.30	67.94	66.11	65.45	65.01	64.51	64.10	63.77	63.54	63.32	63 06	62.85	63.18	65.20	67.24	68.78	70.05	71.46	72.59	67.58
Februar .	74.04	74.07	73.63	72.85	71.74	70.36	68.20	66.69	66.13	65.75	65.34	64.93	64.54	64.23	64 00	63.60	63.41	63.12	64.46	66.33	67.94	69.72	71.62	73.10	67.91
März . . .	71.74	72.40	72.19	71.40	69.96	68.07	65.98	64.98	64.38	63.69	63.20	62.85	62.37	62.06	61.69	61.44	61.15	60.97	61.31	63.03	65.39	67.48	69.50	71.00	65.76
April . . .	68.39	68.94	68.90	68 06	66.56	64.22	62.69	62.13	61.54	60.98	60.46	59.87	59.53	59.27	59.00	58.80	58.40	58.28	58.17	59.49	61.82	64.14	65.95	67.35	62.62
Mai	62.32	62.55	62.43	61.74	60.49	58.99	58.08	57.41	56.81	56.39	55.85	55.48	55.37	55 21	55.05	54.81	54.59	54 32	54.04	54.44	56.42	58.48	60.09	61.29	57.61
Juni. . . .	58.45	58.79	58.78	58.32	57.01	55.58	54.79	54.25	53.71	53.25	52.77	52.32	52.16	51.86	51.69	51.53	51.21	50.95	50.80	50.83	52.20	54.42	56.17	57.42	54.14
Juli	59.15	59.66	59.65	59.21	57.77	56.13	55.15	54.47	53.83	53.34	52.86	52.37	52.08	51.72	51 42	51.19	50.96	50.83	50.51	50.88	52.67	54.94	56.87	58.28	54.41
August . .	58.86	59.23	59.07	58.61	57.61	55.91	55.01	54.35	53.91	53.60	53.17	52.91	52.71	52.31	52.07	51.87	51.54	51.19	51.15	51 88	53.19	55.57	57 05	58.30	54.63
September	61.60	61.79	61.68	60.87	59.65	58.02	56.78	56.09	55.62	55.22	54 58	54.47	54.36	53.95	53.64	53.31	53.10	53.20	53.13	54.94	56.90	58.61	59.94	60.94	56.77
October. .	65.48	65.71	65.46	64.66	63.38	61.56	59.51	58.68	58.05	57.51	57.14	56.74	56.70	56.33	56.11	55.88	55.64	55.63	57.14	59.08	61.00	62.75	64.07	65.04	59.97
November	68.00	68.03	67.63	66.98	66.19	64.82	62.49	61.12	60.38	59.99	59.52	59.12	58.82	58.43	58.00	57.69	57.48	58.14	60.55	62.50	63.96	65.27	66.50	67.50	62.46
Decemler.	71.02	71.23	70.84	70.21	69.63	68.23	65.69	63.94	63.19	62.64	62.07	61.59	61.18	60.82	60.49	60.17	59.91	60.83	63.41	65.80	67.17	68.42	69.62	70.42	65.35

St. Helena. — Länge 5° 40′ W. Breite 15° 56′ S. Declination 23° 36′ W. Inclination 21° 40′ S.

Mittlere tägliche Variation der Declination in den Jahren 1841 bis 1845 einschliesslich.

Wachsende Zahlen bedeuten Zunahme der östl. Ablenkung des nördl. oder oberen Nadelendes. Mittlere Declination 23° 36′,6 W.

Mittlere Zeit	Mittag 0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	Mitternacht 12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Tägliches Mittel
Januar	3.72	3.19	2.41	2.03	2.09	1.84	1.92	2.41	2.80	2.90	2.86	2.81	2.63	2.43	2.23	2.01	1.73	1.68	1.50	0.59	0.00	0.57	1.75	3.15	2.13
Februar	4.53	4.51	4.11	3.39	2.80	2.55	2.61	3.02	3.21	3.35	3.48	3.52	3.42	3.22	3.12	2.98	2.83	2.75	2.64	1.14	0.00	0.31	1.52	3.34	2.85
März	3.76	4.11	3.48	2.57	2.15	2.20	2.48	2.64	2.69	2.68	2.85	2.84	2.80	2.77	2.68	2.70	2.69	2.70	2.96	1.90	0.26	0.00	1.13	2.72	2.49
April	3.28	2.48	1.65	1.27	1.03	1.01	1.23	1.50	1.56	1.60	1.71	1.81	1.96	1.92	1.92	2.00	2.16	2.22	2.47	2.15	0.62	0.00	0.82	2.57	1.70
Mai	0.71	0.44	0.57	0.71	0.55	0.21	0.25	0.48	0.56	0.72	0.78	0.90	1.02	1.09	1.11	1.18	1.32	1.57	2.04	2.58	1.50	0.32	0.00	0.49	0.88
Juni	0.71	0.73	0.88	0.94	0.44	0.00	0.10	0.39	0.56	0.73	0.90	1.06	1.17	1.22	1.25	1.29	1.40	1.66	2.16	3.31	2.69	1.39	0.75	0.69	1.10
Juli	0.82	0.71	0.78	0.84	0.48	0.02	0.00	0.22	0.46	0.64	0.84	0.98	1.08	1.14	1.14	1.24	1.31	1.46	2.02	3.11	2.58	1.31	0.63	0.67	1.02
August	0.11	0.00	0.40	0.86	0.82	0.42	0.25	0.52	0.68	0.78	0.88	1.02	1.02	1.02	1.04	1.18	1.27	1.61	2.37	3.43	2.52	1.19	0.36	0.05	0.99
September	0.89	0.85	0.65	0.44	0.35	0.28	0.28	0.53	0.62	0.67	0.79	0.78	0.75	0.64	0.61	0.65	0.70	0.95	2.12	1.89	0.85	0.17	0.00	0.43	0.70
October	4.41	4.35	3.43	2.06	1.23	1.32	1.80	2.04	2.21	2.34	2.45	2.43	2.23	2.00	1.92	1.81	1.72	1.74	1.99	0.49	0.00	0.72	2.08	3.61	2.10
November	3.97	3.82	3.31	2.52	1.85	1.85	2.29	2.77	2.99	3.13	3.21	3.13	2.96	2.68	2.46	2.22	1.97	1.80	1.53	0.21	0.00	1.03	2.22	3.41	2.39
December	3.65	3.48	2.70	1.94	1.66	1.85	2.15	2.58	2.93	3.12	3.20	3.13	2.89	2.64	2.40	2.17	1.93	1.73	1.38	0.32	0.00	0.86	2.09	3.32	2.25

Mittlere tägliche Variation der Inclination in den einzelnen Monaten von Januar 1841 bis December 1845.

Wachsende Zahlen bedeuten Zunahme der Inclination. Mittlere Inclination 21° 40′ S.

Januar	0.14	0.46	1.07	1.49	2.18	2.53	2.77	2.91	2.87	2.83	2.77	2 63	2.40	2.23	1.99	1.85	1.80	1.77	1.65	1.37	0.88	0.53	0.00	0.02	1.71
Februar	0.23	0.61	1.33	2.00	2.39	2.78	3.01	3.15	3.12	2.98	2.86	2.73	2.61	2.46	2.44	2.21	2.15	2.00	2.04	1.82	1.40	0.94	0.10	0.00	1.97
März	0.11	0.56	1.33	1.86	2.21	2.47	2.80	2.97	2.99	2.89	2.89	2.67	2.46	2.37	2.26	2.12	1.99	2.01	1.84	1.53	1.06	0.43	0.00	0.10	1.83
April	0.45	0.89	1.54	2.14	2.53	2.83	3.05	3.17	3.26	2.88	2.97	2.63	2.41	2.18	2.15	2.08	1.88	1.77	1.47	1.30	0.94	0.43	0.27	0.00	1.88
Mai	0.20	0.74	1.16	1.62	1.90	2.10	2.22	2.36	2.28	2.21	2.12	1.99	1.77	1.69	1.56	1.33	1.21	1.16	1.18	1.09	0.81	0.36	0.00	0.03	1.38
Juni	0.18	0.56	1.04	1.58	1.65	1.91	2.21	2.26	2.24	2.12	2.02	1.98	2.06	1.77	1.68	1.54	1.46	1.36	1.22	0.98	0.80	0.43	0.09	0.00	1.38
Juli	0.30	0.60	1.06	1.44	1.82	2.01	2.42	2.47	2.40	2.35	2.21	2.04	1.80	1.58	1.52	1.30	1.25	1.08	1.00	0.84	0.53	0.27	0.00	0.03	1.35
August	0.25	0.72	1.21	1.61	1.94	2.16	2.35	2.40	2.39	2.19	2.12	1.98	1.80	1.69	1.58	1.40	1.33	1.25	1.13	1.07	0.79	0.54	0.19	0.00	1.42
September	0.18	0.70	1.29	1.72	2.02	2.19	2.40	2.40	2.32	2.13	2.01	1.99	1.80	1.68	1.47	1.50	1.51	1.44	1.40	1.27	0.92	0.60	0.36	0.00	1.47
October	0.24	0.74	1.36	1.90	2.34	2.56	2.55	2.88	2.65	2.56	2.46	2.28	2.09	2.04	1.89	1.80	1.70	1.69	1.63	1.31	0.88	0.37	0.00	0.02	1.66
November	0.08	0.27	0.74	1.19	1.63	2.00	2.35	2.45	2.38	2.30	2.18	2.07	1.96	1.83	1.71	1.59	1.66	1.48	1.35	0.92	0.55	0.23	0.00	0.10	1.38
December	0.26	0.73	1.06	1.59	2.08	2.41	2.69	2.78	2.61	2.45	2.39	2.15	2.01	1.80	1.72	1.56	14.8	1.38	1.26	0.85	0.40	0.10	0.00	0.07	1.49
Mittel	0.22	0.63	1.18	1.68	2.06	2.33	2.57	2.68	2.63	2.49	2.42	2.26	2.10	1.94	1.83	1.69	1.62	1.53	1.43	1.20	0.83	0.44	0.08	0.03	1.58

St. Helena. — Mittlere tägliche Aenderung der Totalintensität in den einzelnen Monaten von Januar 1841 bis December 1845. Wachsende Zahlen bedeuten Zunahme der Intensität.

Mittlere Zeit	Mittag 0^h	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h	6^h	7^h	8^h	9^h	10^h	11^h	Mitternacht 12^h	13^h	14^h	15^h	16^h	17^h	18^h	19^h	20^h	21^h	22^h	23^h	Tägliches Mittel
	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Januar . .	130	129	116	098	081	063	046	027	016	004	000	001	001	008	015	015	019	019	024	040	055	080	109	124	051
Februar .	117	109	092	077	063	050	029	014	007	001	002	003	004	002	000	002	002	003	009	023	046	070	095	114	039
März . . .	153	147	124	096	070	055	032	020	010	000	006	004	001	016	014	018	018	021	026	040	068	102	132	149	055
April . . .	162	150	122	088	068	042	021	010	005	001	004	000	007	014	015	016	025	024	024	031	054	090	102	150	051
Mai	163	142	115	087	065	049	036	023	016	011	004	000	008	008	011	018	019	019	025	034	048	095	132	159	054
Juni. . . .	141	128	101	064	063	047	028	015	006	004	001	000	002	003	004	004	004	009	013	022	042	075	110	137	043
Juli	126	117	095	073	051	042	027	015	011	002	002	000	003	005	006	011	015	018	019	024	038	068	097	116	041
August . .	139	126	103	077	053	038	026	013	004	001	000	000	002	005	009	015	015	016	016	018	037	068	103	131	039
September	143	131	105	077	056	037	026	013	004	000	003	007	011	014	018	024	022	024	023	022	038	069	101	134	046
October. .	135	123	105	088	070	051	030	015	007	001	000	005	011	013	019	020	019	020	017	032	058	093	123	135	050
November	112	111	101	090	076	055	029	018	007	000	002	009	011	011	016	017	017	017	026	048	071	087	105	112	048
December	116	110	105	089	071	051	027	011	004	000	000	003	003	006	003	010	011	012	024	046	064	086	107	117	045
Mittel . . .	136	127	197	084	066	048	030	016	008	002	002	003	006	009	01_1	014	015	017	021	032	052	082	110	132	047

Mittlere Temperatur der Luft von 1841 bis 1845 einschliesslich.

	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Januar . .	67.68	68.05	67.93	67.79	67.30	66.04	64 58	63.39	62.93	62.62	62.42	62.27	62.06	61.88	61.66	61.60	61.49	61.39	61.37	61.84	62.79	64.09	65.38	66.55	63.98
Februar .	69.14	69.61	69.85	69.59	68.95	67.89	66.59	65.43	64.91	64.66	64.46	64.32	64.13	63.96	63.78	63.59	63.51	63.44	63.42	63.62	64.43	65.72	67.08	68.24	65.87
März . . .	69.13	69.57	69.89	69.71	69.10	68.10	66.86	65.84	65.47	65.15	65.00	64.83	64.65	64.50	64.31	64.17	64.15	64.03	64.05	64.29	65.08	66.39	67.35	68.38	66.24
April . . .	68.54	68.89	68.98	68.64	67.99	66.98	65.84	65.15	64.84	64.61	64.45	64.29	64.11	64.02	63.88	63.77	63.66	63.51	63.49	63.69	64.50	65.70	66.74	67.86	65.60
Mai	65.76	66.01	66.09	65.84	65.17	64.11	63.56	63.32	62.73	62.13	62.03	61.88	61.67	61 57	61.40	61.24	61.19	61.19	61.04	61.06	62.01	63.22	64.11	65.22	63.05
Juni. . . .	62.40	62.76	62.73	62.39	61.83	60.98	60.14	59.68	59.49	59.34	59.20	59.11	59.00	58.86	58.74	58.61	58.56	58.53	58.47	58.52	59.13	60.16	60.98	61.80	60.07
Juli	60.37	60.83	60.77	60.51	59.87	58.98	58.14	57.70	57.48	57.25	57.13	56.91	56.81	56.72	56 60	56.51	56.43	56.36	56.31	56.38	57.07	58.09	58.90	59.69	57.99
August . .	59.68	59.99	60.12	59.72	59.11	58.11	57.23	56.83	56.60	56 45	56.32	56.20	56.10	55 98	55.76	55.68	55.53	55.50	55.39	55.56	56.20	57.22	58.07	58.96	57.17
September	59.89	60.26	60.18	59.77	59.11	58.03	57.05	56.56	56.35	56.21	56 04	55.91	55.82	55.67	55.51	55.37	55.29	55.21	55.21	55.44	56.12	57.18	58.31	59.14	57 07
October. .	61.50	61.98	61.91	61.31	60.46	59.31	58.18	57.57	57.64	57.12	56.99	56.84	56.64	56.48	56.30	56.18	56.11	56.01	56.06	56.50	57.38	58.61	59.71	60.73	58.23
November	63.44	63.88	63.97	63.52	62.63	61.32	59.94	59.11	58.76	58.57	58.41	58.24	58.08	57.90	57.71	57.62	57.55	57.43	57.53	58.03	58.94	60.20	61.35	62.35	59.84
December.	65.19	65.81	65.87	65.72	64.88	63.62	62.17	61.10	60.70	60.46	60.27	60.12	59.95	59.75	59.57	59.47	59.34	59.31	59.39	59.77	60.69	61.97	63.03	64.19	61.77

Singapore. — Breite 1^0 16′ N. Länge 103^0 53′ E. Declination 1^0 40′ E. (angenähert). Inclination 12^0 S. (angenähert).

Mittlere stündliche Oscillation der magnetischen Declination in den einzelnen Monaten der Jahre 1843, 1844 und 1845.

Wachsende Zahlen bedeuten eine Bewegung des nördlichen oder oberen Endes des Magnets gegen Osten.

Mittlere Zeit	Mittag $0^1/_4{}^h$	$1^1/_4{}^h$	$2^1/_4{}^h$	$3^1/_4{}^h$	$4^1/_4{}^h$	$5^1/_4{}^h$	$6^1/_4{}^h$	$7^1/_4{}^h$	$8^1/_4{}^h$	$9^1/_4{}^h$	$10^1/_4{}^h$	$11^1/_4{}^h$	Mitternacht $12^1/_4{}^h$	$13^1/_4{}^h$	$14^1/_4{}^h$	$15^1/_4{}^h$	$16^1/_4{}^h$	$17^1/_4{}^h$	$18^1/_4{}^h$	$19^1/_4{}^h$	$20^1/_4{}^h$	$21^1/_4{}^h$	$22^1/_4{}^h$	$23^1/_4{}^h$	Tägliches Mittel
Januar . . .	2.04	2.52	2 79	2 72	2.52	2.24	2.11	2.18	2.04	1.97	1.84	1.70	1.63	1.63	1.50	1.43	1.29	1.02	0.61	0.00	0.00	0.41	0.82	1.22	1.59
Februar . .	2.31	2.92	3.13	3.06	2.79	2.52	2.31	2.31	2.18	2.04	1.90	1.90	1.97	1.90	1.90	1.90	1.84	1.70	1.29	0.54	0.00	0 00	0.34	1.43	1.84
März	1.29	1 43	1.63	1.77	1.63	1.43	1.29	1.09	0.95	0.88	0 82	0.82	0.88	0.88	0.88	0.82	0.82	0.82	0.82	0.48	0.00	0.07	0.54	1.02	0.96
April	0 34	0.61	0.75	1 02	1.16	1 16	0.95	0.82	0.61	0.54	0.61	0.68	0.82	0.95	0.95	0.95	0.88	0 82	1.16	0.95	0.34	0.00	0.20	0.41	0.70
Mai	0.07	0 48	0.82	1.16	1.36	0.95	1.02	0.88	0.75	0.68	0.75	0.82	1.09	1.16	1.29	1.36	1 36	1.43	2.11	2.24	1.43	0.68	0.27	0.00	0.75
Juni	0.20	0.41	0.54	0.61	0.54	0.34	0.14	0.00	0.00	0.00	0.07	0.20	0.41	0.54	0.61	0.68	0.68	0.82	1.36	1.56	0.82	0.41	0.00	0.14	0.46
Juli	0.07	0.41	0.61	0.88	1.02	0.88	0.48	0.34	0.27	0.20	0.27	0.34	0.54	0.68	0.82	0.75	0.82	1.16	1.63	1.97	1.29	0.54	0.14	0.00	0.67
August . . .	0.20	0.68	1.02	1.56	1.63	1.84	1.43	1.29	1.09	1.02	1.02	1.16	1.22	1.36	1.43	1.50	1.50	1.70	2.52	2.79	1.77	0.75	0.14	0 00	1.27
September	0.48	0.88	1.36	1.63	1.63	1.56	1 50	1 29	1.16	1.09	1.02	1.09	1.16	1.22	1.29	1.29	1.36	1.43	1.97	1.77	0.75	0.20	0.00	0.20	1 14
October . .	1.90	2.31	2.31	2.18	1.97	1.77	1.77	1.63	1 50	1.36	1.29	1.29	1.43	1.36	1.36	1 29	1.22	1.09	1.16	0.54	0.14	0.00	0.27	1.02	1.33
November	2.45	2.92	2.99	2.86	2.45	2.11	1.97	1.84	1.70	1.56	1.36	1.36	1.43	1.43	1.36	1.29	1.16	1.02	0.48	0.00	0.00	0.27	0.82	1.63	1.51
December	2.52	2.99	2.99	2 99	2.86	2.45	2.18	2.04	1.97	1.84	1.70	1.63	1.56	1.56	1.56	1.50	1.43	1.16	0.61	0 00	0.00	0.41	1.02	1.77	1.70

Mittlere tägliche Variation der Inclination in den einzelnen Monaten der Jahre 1843, 1844 und 1845.

Wachsende Zahlen bedeuten Zunahme der Inclination. Angenäherter Werth der Inclination 12^0 S.

Januar . . .	0.00	0.43	0.98	1.28	1.90	2.07	2.38	2.57	2.62	2.71	2.76	2.76	2.66	2.71	2.71	2.72	2.72	2.72	2.73	2.52	1.97	1.09	0.32	0.02	1.97
Februar . .	0.04	0.64	1.24	1.75	2.00	2.21	2.56	2.82	2.94	3.02	3.10	3.07	3.08	3.03	2.98	2.99	2.97	2.97	3.03	2.88	2.35	1.21	0.40	0.00	2.22
März	0.06	0.29	0.75	1.36	1.75	1.88	2.22	2.55	2.65	2.70	2.74	2.72	2.72	2.67	2.71	2.72	2.72	2.75	2.75	2.54	1.84	0.75	0.11	0.00	1.91
April	0.28	0.82	1.54	2.09	2.47	2.71	3.04	3.00	3.27	3.36	3.41	3 49	3.43	3.40	3.33	3.29	3 29	3.27	3.15	2.92	2.18	1.15	0.28	0.00	2.46
Mai	0.00	0.32	0.80	1.17	1.62	1.96	2.29	2.34	2.42	2.43	2.42	2.20	2.38	2.40	2.42	2.46	2.52	2.51	2.25	1.87	1.25	0.49	0.03	0.00	1.69
Juni	0.04	0.20	0.57	0.98	1.44	1.50	2.20	2.25	2.19	2.16	2.10	2.07	2.15	2.21	2.15	2.20	2.21	2.29	2.02	1.71	1.25	0.69	0.22	0.00	1.53
Juli	0.00	0.15	0.45	0.89	1.34	1.76	2.10	2.16	2.19	2.20	2.20	2.07	2.18	2.19	2.19	2.21	2.21	2.27	2.02	1.74	1.28	0.69	0.27	0.05	1.53
August . . .	0.12	0.34	0.69	1.01	1.35	1.68	1.99	2.32	2.21	2.27	2.26	2.28	2.26	2.20	2.18	2.22	2.21	2.22	1.93	1.68	1.30	0.62	0.14	0.00	1.56
September	0.41	1.00	1.60	1.94	2.11	2.32	2.58	2.69	2.78	2.82	2.85	2.84	2.85	2.79	2.74	2.75	2.75	2.79	2.66	2.39	1.66	0.79	0.15	0.00	2.09
October . .	0.38	1.17	1.94	2.38	2.48	2.59	2.86	3.07	3.23	3.29	3.34	3.23	3.33	3.23	3.22	3.20	3.24	3.20	3.25	2.96	2.18	1.14	0.21	0.00	2.46
November	0.16	0.63	1.37	1.96	2.32	2.68	2.88	2.87	3.02	3.08	3.07	3.06	3 06	3.03	3.02	2.95	3.01	3.00	3.15	2.80	2.01	1.04	0.17	0.00	2.26
December.	0.09	0.54	1.13	1.62	1.92	2.26	2.53	2.66	2.85	2.86	2.85	2.86	2.76	2.76	2.72	2.69	2.65	2.69	2.44	2.38	1.81	1.08	0.34	0.00	2.02
Mittel	0.13	0.54	1.09	1.54	1.89	2.14	2.47	2.61	2.70	2.74	2.76	2.72	2.74	2.72	2.70	2.70	2.71	2.72	2.62	2.37	1.76	0.89	0.22	0.01	1.98

Singapore. — Mittlere tägliche Variation der Totalintensität in den einzelnen Monaten der Jahre 1843, 1844, 1845.
Wachsende Zahlen bedeuten Zunahme der Totalintensität.
Die Zahlen drücken die Aenderungen in Bruchtheilen der ganzen Intensität aus. Angenäherter Werth der Totalintensität 8,21.

Mittlere Zeit	Mittag $0^{1}/_{4}^{h}$	$1^{1}/_{4}^{h}$	$2^{1}/_{4}^{h}$	$3^{1}/_{4}^{h}$	$4^{1}/_{4}^{h}$	$5^{1}/_{4}^{h}$	$6^{1}/_{4}^{h}$	$7^{1}/_{4}^{h}$	$8^{1}/_{4}^{h}$	$9^{1}/_{4}^{h}$	$10^{1}/_{4}^{h}$	$11^{1}/_{4}^{h}$	Mitternacht $12^{1}/_{4}^{h}$	$13^{1}/_{4}^{h}$	$14^{1}/_{4}^{h}$	$15^{1}/_{4}^{h}$	$16^{1}/_{4}^{h}$	$17^{1}/_{4}^{h}$	$18^{1}/_{4}^{h}$	$19^{1}/_{4}^{h}$	$20^{1}/_{4}^{h}$	$21^{1}/_{4}^{h}$	$22^{1}/_{4}^{h}$	$23^{1}/_{4}^{h}$	Tägliches Mittel
	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Januar . .	086	066	047	030	028	021	015	009	009	003	002	000	007	002	008	007	010	012	022	033	054	074	099	100	031
Februar .	099	080	061	042	027	024	013	008	004	000	000	002	000	001	005	005	009	011	014	025	049	082	103	110	032
März . . .	114	085	055	035	026	020	013	007	003	001	000	002	005	008	007	009	011	012	012	027	057	087	112	122	035
April . . .	122	094	065	040	029	020	016	011	005	003	005	002	000	004	009	011	013	015	020	043	076	110	139	137	041
Mai	104	081	060	036	020	013	014	011	010	006	006	000	004	006	006	006	008	012	025	044	073	097	114	118	036
Juni. . . .	096	075	051	026	011	042	004	004	001	000	000	000	001	001	003	004	004	008	020	038	062	085	102	105	031
Juli. . . .	100	081	056	033	019	013	007	007	004	004	002	000	002	004	006	004	010	015	026	044	070	091	105	110	034
August . .	101	081	055	033	016	009	010	005	006	000	002	002	004	010	011	011	016	018	028	046	077	096	115	114	036
September	093	065	037	029	018	009	009	008	002	001	000	003	003	008	014	018	019	017	023	045	079	104	117	115	035
October .	102	073	050	036	029	024	013	007	003	000	000	001	006	011	011	016	019	017	020	037	070	101	117	121	037
November	080	063	044	030	021	015	009	003	001	000	001	000	002	006	007	013	012	013	017	034	059	082	098	095	029
December	077	061	044	031	026	021	012	004	000	000	001	002	003	006	009	013	014	014	019	035	056	078	095	091	030
Mittel. . .	098	075	052	033	022	019	011	007	004	002	002	001	003	006	008	010	012	014	021	038	065	091	110	112	034

Mittlere Lufttemperatur nach Beobachtungen am Normalthermometer im Observatorium in den Jahren 1841, 1842 und 1843.

	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Januar . .	79.7	79.5	80.0	79.5	79.7	79.1	79.0	78.4	78.5	78.0	78.1	77.5	77.9	77.3	77.6	76.9	77.4	76.5	77.0	76.3	77.3	77.4	78.6	78.8	78.2
Februar .	80.7	81.6	81.2	82.1	81.2	82.1	80.2	80.6	79.7	80.2	79.2	79.6	78.6	79.0	78.3	78.6	78.2	78.2	77.7	78.2	78.0	79.4	79.6	81.8	79.8
März . . .	81.4	82.1	81.7	82.3	81.6	82.0	80.9	81.5	80.5	81.2	80.1	81.0	79.9	80.6	79.4	80.3	79.1	79.9	78.7	79.8	79.4	80.6	80.6	81.5	80.7
April . . .	81.8	81.8	82.1	81.8	81.9	81.6	81.4	81.2	81.0	80.9	80.7	80.2	80.3	80.3	79.9	80.0	79.5	79.6	79.2	79.8	79.9	80.6	81.1	81.4	80.8
Mai	82.5	—	82.7	—	82.5	—	82.1	—	81.8	—	81.4	—	80.9	—	80.5	—	80.3	—	79.9	—	80.9	—	81.8	—	81.4
Juni . . .	82.5	82.9	82.7	83.1	82.5	82.7	82.2	82.0	81.7	81.6	81.4	81.4	81.2	81.2	80.7	80.7	80.3	80.2	80.1	80.4	81.0	81.7	81.8	82.6	81.6
Juli	82.4	83.0	82.8	83.1	82.7	82.7	82.2	82.1	81.8	81.9	81.5	81.5	81.1	81.2	80.7	80.9	80.3	80.6	80.8	80.8	80.8	81.9	81.9	82.6	81.7
August . .	81.7	81.9	81.9	81.9	81.8	81.8	81.4	81.3	81.0	81.2	80.8	80.8	80.4	80.3	80.1	80.1	79.8	79.8	79.5	79.8	80.2	80.8	81.2	81.6	80.9
September	82.1	82.6	82.4	82.3	82.2	82.1	81.7	81.6	81.5	81.2	81.0	80.8	80.5	80.3	80.1	80.0	79.7	79.7	79.4	79.4	80.3	80.9	81.4	81.8	81.0
October. .	81.5	81.3	81.7	81.4	81.7	81.2	81.2	80.6	80.7	80.2	80.1	79.8	79.6	79.8	79.4	79.3	79.0	79.3	78.7	79.2	79.5	80.0	80.7	80.9	80.3
November	81.1	81.0	81.3	80.8	81.0	80.6	80.4	80.1	80.1	79.7	79.7	79.6	79.3	79.1	78.9	78.7	78.6	78.5	78.4	78.5	79.2	79.6	80.2	80.5	79.8
December	81.0	81.3	81.3	81.3	80.9	80.8	80.2	80.0	79.6	79.4	79.2	79.2	79.0	79.0	78.6	78.4	78.1	78.1	77.9	78.2	78.7	79.5	80.1	80.7	79.6
Mittel. . .	81.5	81.7	81.8	81.8	81.6	81.5	81.1	80.9	80.7	80.5	80.3	80.1	79.9	79.8	79.5	79.4	79.2	79.1	78.9	79.1	79.6	80.2	80.7	81.3	80.4

Ueber atmosphärischen Magnetismus.

[Royal Institution Proceedings, 11. April 1851.]

An einem früheren Abend (24. Januar) zeigte ich, dass Sauerstoff magnetisch ist, da er von den Polen eines Magnets angezogen wird; dass diese seine Eigenschaft gleich anderen magnetischen Körpern geschwächt oder erhöht werden kann, je nachdem seine Temperatur gesteigert oder erniedrigt wird, und dass diese Aenderungen innerhalb der natürlichen Temperaturgrenzen vor sich gehen. Diese Eigenschaften hat er auch in der Atmosphäre; und das Ziel dieses Abends sollte der Nachweis bilden, inwieweit sie dazu dienen könnten, gewisse Veränderungen des Erdmagnetismus, die man beobachtet, zu erklären.

Eine Quelle des Magnets (beispielsweise ein Magnet) erscheint uns als ein System, das Polarität besitzt, und wenn man sich die Stellen, die man die Pole nennt, als diejenigen denkt, in denen der polare Zustand am stärksten ist, so sind die entgegengesetzten Polaritäten, die sich ausserhalb des Magnets zu erkennen geben, vollkommen bestimmt und einander genau gleich. Ist die Vertheilung der Kraft in dem Magnet unregelmässig, so behält doch die Summe der entgegengesetzten Polaritäten dieselbe Bestimmtheit.

Ausserhalb des Magnets lassen sich jene Kraftconcentrationen, die wir Pole nennen, als durch die sogenannten rings im Raume existirenden magnetischen Curven oder magnetischen Kraftlinien mit einander verknüpft ansehen. Diese Ausdrücke haben eine wichtige Bedeutung und verbildlichen den Magnetismus. Sie geben nicht bloss dann die Richtung der Kraft an, die sich zu erkennen giebt, wenn ein kleiner Magnet oder ein Krystall oder ein anderer magnetischen Einflüssen unterworfener Körper in ihren Weg gebracht wird, sondern es sind die Kraftlinien, welche die Polaritäten verknüpfen und unterhalten und ebenso gut bei Abwesenheit wie bei Anwesenheit einer Magnetnadel oder eines Krystalls existiren; sie haben eine unabhängige Existenz, ähnlich wie ein Licht- oder Wärmestrahl (obwohl sie ihrer Natur nach sehr verschieden von demselben sind), der, obschon er in einem bestimmten Raume existirt und zu seiner Fortpflanzung sogar Zeit braucht, als Strahl an und für sich unserer Wahrnehmung vollkommen unzugänglich ist und sich uns bloss durch seine Wirkungen, da wo er als solcher zu existiren aufhört, zu erkennen giebt. Die Gestalt einer magnetischen Kraftlinie kann

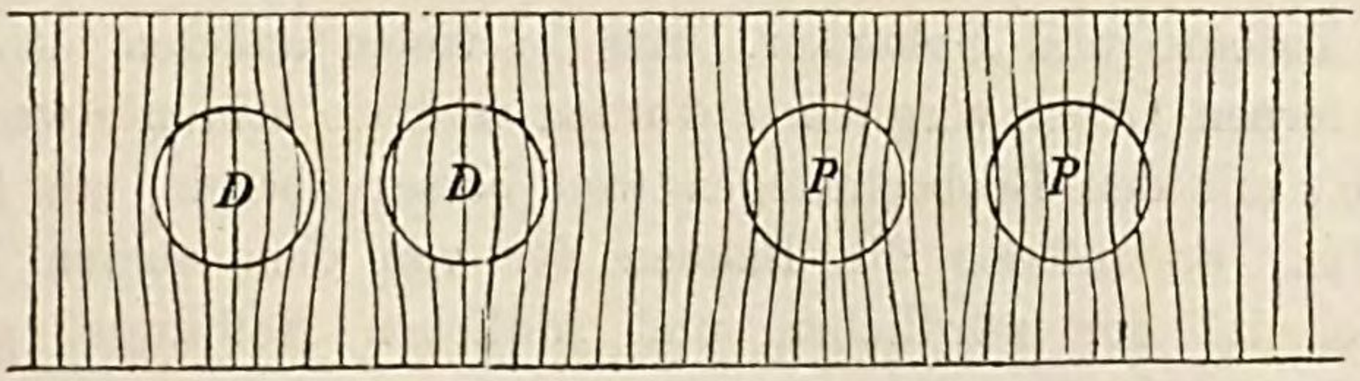
ausserordentlich variiren, von Geradheit bis zu jedem Grade der Krümmung, und kann sogar eine doppelte und verwickelte Krümmung haben. Ihre Richtung ist durch ihre Polarität bestimmt, die eine ändert sich zugleich mit der anderen. Ihre Eigenschaften sind derart, dass eine in ihren Weg gebrachte Magnetnadel eine zu ihr parallele Ruhelage einnimmt; dass ein Kalkspathkrystall sich dreht, bis seine optische Axe quer zu ihr liegt, und dass in einem Draht, der unbeeinflusst bleibt, wenn er sich in oder längs derselben bewegt, ein elektrischer Strom entsteht, sobald er sie schneidet; durch diese und andere Mittel offenbart sich das Dasein und die Richtung der magnetischen Kraftlinie.

Die Erde ist ein grosser Magnet; ihr Magnetismus ist nach Gauss gleich dem, der sich ergeben würde, wenn jedes Cubikyard sechs einpfündige Magnete enthielte; ihre gesammte Wirkung ist daher gleich der von 8464 Trillionen solcher Magnete. Die Vertheilung dieser magnetischen Kraft ist keine gleichförmige; auch giebt es auf der Oberfläche keine Punkte, die man eigentlich als Pole bezeichnen kann; doch liegen die polaren Gebiete in hoher nördlicher und südlicher Breite und sind durch magnetische Kraftlinien (das sind Richtungslinien) mit einander verbunden, die, allgemein gesprochen, sich aus der Erde in der einen (magnetischen) Hemisphäre erheben und in verschiedenen Richtungen über die äquatorialen Gebiete in die andere Hemisphäre übergehen, wo sie in die Erde eintreten und so den bekannten Kraftkreis schliessen. Eine freie Nadel zeigt das Dasein und die Richtung dieser Linien. In London gehen sie unter einem Winkel von etwa 69^0 mit dem Horizont (das ist der Inclinationswinkel) von der Erde aus, und die Ebene, in welcher sie aufsteigen, bildet mit der wahren Nordrichtung einen Winkel von nahezu 23^0 W., und dies ist's, was man westliche Declination nennt. Wo die Inclination klein ist, wie unter dem magnetischen Aequator, erheben sich diese Linien kaum über die Erde und gehen nur in kurzer Entfernung von der Oberfläche über sie hinweg; wo sie aber gross ist, wie in höheren nördlichen und südlichen Breiten, da erheben sie sich unter einem grösseren Winkel und gehen in ferne Gebiete des Raumes, aus denen sie auf der anderen magnetischen Hemisphäre zur Erde zurückkehren, und so umhüllen sie die Erdkugel mit einem System von Kräften gleich dem eines gewöhnlichen Magnets, der, wo er auch die Atmosphäre durchschreitet, dem wechselnden Einfluss des magnetischen Sauerstoffs derselben unterworfen ist. Ich habe allen Grund, zu glauben, dass diese Linien in der Erde, der sie ihre Entstehung verdanken und aus der sie sich erheben, *festgehalten* werden, gerade so wie die einem Magnet entspringenden Linien von ihm, wenn auch nicht in demselben Maasse, festgehalten werden; und dass jede sie beeinflussende Störung von oben her ihren Ort und ihre Richtung oben in der Atmosphäre und im Raume stärker ändern wird als unten in der Erde.

Das System der magnetischen Kraftlinien um einen Magnet oder die

Erde erleidet eine seitliche Spannung, gewissermassen analog der seitlichen Spannung der elektrostatischen Kraftlinien; das eine wie das andere lässt sich leicht experimentell sichtbar machen. Der Störung der Spannung in einem Theil folgt augenblicklich eine Störung der Spannung in jedem anderen Theil; denn wie die Summe der äusseren Kräfte eines Systems, wenn sie an ihrem Ursprunge nicht geändert wird, fest bestimmt ist und sich nicht ändern kann, so muss jegliche Aenderung der Intensität oder Richtung der Kraftlinien an einer Stelle von einer entsprechenden Aenderung an jeder anderen begleitet sein. Wenn beispielsweise ein Stück weiches Eisen an der Ostseite eines Magnets eine Concentration der von dem Magnet ausgehenden Kraftlinien an dieser Seite bewirkt, so müssen gleichzeitig die Linien auf der Westseite in entsprechendem Maasse auseinandertreten oder von einander abstehen, wie es auch wirklich geschieht. Oder wenn die Sonne, indem sie im Osten aufgeht, den Magnetismus des gesammten Sauerstoffs der Luft auf dieser Seite der Erdkugel schwächt und ihn eines Theiles seiner Fähigkeit, den Durchgang der erdmagnetischen Kraftlinien daselbst zu begünstigen, beraubt, so wird eine grössere Anzahl derselben durch die Gebiete im Westen gedrängt werden; und selbst wenn man zweifeln wollte, dass die Kraftlinien, wie oben angenommen worden, eine selbstständige Existenz haben, so würde dies doch keinen Irrthum hinsichtlich der Wirkungen auf Magnetnadeln in sich schliessen, denn diese würden in der Erfahrung dieselben bleiben und sind es auch.

Das Vermögen eines magnetischen Körpers wie Eisen oder Sauerstoff, die Kraftlinien leichter hindurchgehen zu lassen als durch einen nicht magnetischen Körper, kann man als Leitung bezeichnen. Die Leitungsfähigkeit verschiedener Körper, wie Eisen, Nickel, Sauerstoff, ist graduell verschieden, und nicht nur dies, sondern ein und derselbe Körper wie Eisen oder Sauerstoff leitet bei verschiedener Temperatur verschieden gut. Wenn der von einem gleichförmigen Körper, wie Luft, erfüllte Raum von gleichförmigen magnetischen Kraftlinien durchschnitten wird, so wird die Vertheilung derselben nicht geändert; wenn aber eine besser leitende Substanz als Luft eingeführt wird und einen Theil des Raumes einnimmt, so werden die Kraftlinien von anderen Stellen abgelenkt und auf jene concentrirt, wie die Figur bei P P zeigt; wird eine schlechter leitende Substanz eingeführt, so



treten die Linien mehr auseinander wie bei D D. In beiden Fällen sind die Kraftlinien gebeugt, und eine darin befindliche kleine Magnetnadel würde

ihre Richtung entsprechend ändern. Experimentelle Erläuterungen dieser Aenderungen finden sich in meiner Abhandlung in den Philosophical Transactions, Part. I, Art. 2843 etc.

Ich nehme nun an, dass diese Vorgänge in der Atmosphäre stattfinden. Vorausgesetzt dass diese überall mittlere Temperatur habe, so würde die Richtung der Kraftlinien durch die Vertheilung der Kraft in der Erde bestimmt sein. Darauf würde das Erscheinen der Sonne im Osten die gesammte Atmosphäre in diesem Gebiete zu einem schlechteren Leiter machen, und die Folge würde sein, dass diese ein Verhalten zeigen würde wie bei D. Sowie die Sonne weiter heraufkommt, den Meridian durchschreitet und nach Westen geht, würde die unter ihrem Einfluss stehende Atmosphäre Aenderungen der Richtung bewirken wie bei DD, und sie würde daher beim Vorübergehen einer Nadel unter einer gegebenen Breite offenbar entgegengesetzte Richtungen ertheilen, und ebenso ist klar, dass sie zwei Nadeln unter nördlicher und südlicher Breite gleichzeitig entgegengesetzte Richtungen ertheilen würde. Beim Hereinbrechen der Nacht und beim Sinken der Temperatur unter das Mittel, das im Osten beginnt und über den Ort fortschreitet, würden die Kraftlinien wie bei PP gebeugt werden, und es würde nun eine der früheren entgegengesetzte Variation der Nadel eintreten.

Dass in der Natur Variationen in Folge des Magnetismus des Sauerstoffs und der täglichen Temperaturschwankungen desselben vorkommen müssen, ist klar, ob diese aber die Ursache der Variationen sind, die wir beobachten, oder ob sie hierzu ausreichend sind, ist eine Frage, die nur durch eine sehr sorgfältige Untersuchung entschieden werden kann. Es werden nun an vielen Orten der Erde Beobachtungen mit äusserster Sorgfalt angestellt und mit einander verglichen und der Durchschnitts- oder Mittelwerth der Richtung und Intensität der erdmagnetischen Kraft für jede Stunde und Jahreszeit ermittelt und auch sonst viele merkwürdige, anormale und ausserordentliche Ergebnisse angemerkt. Die Prüfung einer Theorie der Ursachen irgend einer oder aller dieser Variationen lässt sich zunächst an der *Richtung*, welche die den Schwankungen unterworfene Nadel annimmt oder annehmen sollte, und dann an dem *Betrage* der Variation vornehmen. Nun ist die aufgestellte Hypothese mit der mittleren täglichen Variation für alle Monate des Jahres in nördlich und südlich gelegenen Orten, wie Toronto und Hobarton, und in vielen anderen dem Aequator nahen und fernen Orten verglichen worden und sie stimmt, was die Richtung betrifft, mit den Beobachtungen weit besser überein, als ich vorausgesehen hatte. So müssen die Bahnen der von dem oberen Ende einer freien Nadel in der nördlichen und südlichen Halbkugel geschlossene Curven bilden und ihre Bewegung muss in gewissen entgegengesetzten Richtungen erfolgen, und so ist es auch wirklich; ebenso trifft es auch zu, dass die von einer Nadel einerseits in nördlichen, andererseits in südlichen

Breiten beschriebenen Curven, wie es sein muss, im Sommer grösser sind als im Winter; in den Wintermonaten muss die nächtliche oder Kältewirkung anwachsen, und so ist es auch; die nördliche Halbkugel muss in Folge ihrer höheren Temperatur ein gewisses Uebergewicht über die südliche haben, und auch dies trifft zu; die Vertheilung von Land und Wasser muss einen Einfluss haben, und dieser zeigt sich in der That in dem verlangten Sinne, und somit erscheint die Hypothese auf den ersten Blick und die erste Prüfung in bemerkenswerther Weise von den Thatsachen gestützt. Alle diese Uebereinstimmungen sind, wie bereits erwähnt, in den Philosophical Transactions speciell geprüft und dargelegt worden. Der nächste Schritt wird darin bestehen, zu ermitteln, wie gross die Aenderung der Leitungsfähigkeit der Luft bei gegebener Temperaturänderung ist, und an der Hand des Resultates festzustellen, ob der zu erwartende Betrag (ebenso wie der Sinn) der Aenderung mit der Wirklichkeit im Einklang ist.

ACHTUNDZWANZIGSTE REIHE.[1])

§ 34. Ueber magnetische Kraftlinien, ihre Bestimmtheit und ihre Vertheilung in einem Magnet und im Raume.

Eingegangen am 22. October, — Gelesen am 27. November und 11. December 1851.

3070. Seit meinen frühesten Versuchen über die Beziehung zwischen Elektricität und Magnetismus (114 Anmerk.) hatte ich über magnetische Kraftlinien, als Repräsentanten der magnetischen Kraft, und zwar nicht bloss hinsichtlich der Qualität und Richtung, sondern auch der Quantität, zu denken und zu reden. Die Nothwendigkeit, welche sich mir bei einigen neueren Untersuchungen (2149 etc.) aufdrängte, mich dieses Begriffes häufiger zu bedienen, lässt mich glauben, dass es Zeit sei, die mit demselben verknüpfte Vorstellung völlig klarzulegen und sorgfältig zu prüfen, um festzustellen, wie weit er mit Recht als Ausdruck der magnetischen Zustände und Erscheinungen angewandt werden dürfe, wie weit er zu deren Aufhellung nützlich sei, und wie weit er dazu beitragen könne, uns zu weiteren richtigen Begriffen über die physikalische Natur der Kraft und zum Verständniss bekannter oder zur Erkenntniss neuer möglicher Wirkungen derselben zu führen.

3071. Eine magnetische Kraftlinie kann definirt werden als die Linie, welche eine sehr kleine Magnetnadel beschreibt, wenn sie in dem einen oder andern Sinne ihrer Längsrichtung so fortgeführt wird, dass sie beständig die Tangente zur Bahn der Bewegung bildet; oder als die Linie, längs welcher ein Querdraht in der einen oder andern Richtung hingeführt werden kann, ohne dass ein Bestreben zur Entstehung eines Stromes vorhanden ist, während bei der Bewegung desselben in jeder anderen Richtung ein solches Bestreben vorhanden ist; oder als die Linie, welche mit der Richtung der Magnekrystallaxe eines Wismuthkrystalls, der in dem einen oder andern Sinne längs derselben hingeführt wird, zusammenfällt. Die Richtung dieser Linien um und zwischen Magneten und elektrischen Strömen lässt sich allgemein durch Eisenfeilspäne leicht erkennen und darstellen.

3072. Diese Linien haben nicht bloss eine nach Obigem erkennbare

---

[1]) Philosophical Transactions, 1852, p. 1.

(3071) bestimmte Richtung, sondern da sie sich auf eine polare oder antithetische Kraft beziehen, entgegengesetzte Qualitäten oder Zustände in entgegengesetzten Richtungen. Diese Qualitäten, welche unterschieden und unter sich identificirt werden müssen, lassen sich entweder durch die Lage der Enden der Magnetnadel oder durch die Richtung des in dem bewegten Drahte inducirten Stromes erkennen.

3073. Ein ebenso wichtiger Bestandtheil der Definition dieser Linien ist der, dass sie der Ausdruck eines festen und unveränderlichen Kraftbetrages sind. Obwohl also die Gestalt derselben zwischen zwei oder mehreren Centren oder Ausgangspunkten magnetischer Kraft, ebenso wie der Raum, den sie durchdringen können, sehr verschieden sein kann, so ist doch die Summe der Kraft in einem Querschnitt einer gegebenen Anzahl von Linien genau gleich der Summe der Kraft in jedem anderen Querschnitt derselben Linien, wie verschieden auch ihre Gestalt, ihre Convergenz oder Divergenz an der zweiten Stelle sein mögen. Der experimentelle Beweis dieser Eigenschaft der Linien wird später erbracht werden (3109 etc.).

3074. Es scheint mir nun, dass diese Linien sehr vortheilhaft als Ausdruck der Natur, Beschaffenheit, Richtung und relativen Grösse der magnetischen Kräfte angewandt werden können, und dass sie in vielen Fällen, wenigstens für den theoretischen Physiker, einen Vorzug haben vor der Methode, welche die Kräfte als in Wirkungsmittelpunkten concentrirt ansieht, etwa wie die Pole von Magneten oder Nadeln; oder auch vor anderen Methoden, wie beispielsweise derjenigen, welche Nord- und Südmagnetismus als Fluida betrachtet, die über die Enden oder zwischen den Theilchen eines Magnetstabes ausgebreitet sind. Ohne Zweifel wird jede dieser Vorstellungen, die nicht zu viel Annahmen macht, bei besonnener Anwendung zu richtigen Resultaten führen, und so müssen sie alle, soweit sie überhaupt anwendbar sind, dieselben Resultate geben. Allein manche können eben kraft ihrer Natur in grösserem Maasse anwendbar sein und weit mannigfaltigere Ergebnisse liefern als andere. Denn wie man bald die Geometrie, bald die Analysis zur Lösung eines speciellen Problems anwenden kann, obschon die Macht und Leistungsfähigkeit der einen im Allgemeinen weit grösser ist als die der anderen; oder wie die Vorstellung der Spiegelung von Bildern einerseits oder der Zurückwerfung des Schalles andererseits zum Ausdruck gewisser physikalischer Kräfte und Zustände dienen kann, so lässt sich die Vorstellung von Anziehungs- und Abstossungscentren, ebenso wie die der Vertheilung von magnetischen Fluidis oder Kraftlinien auf die Betrachtung magnetischer Erscheinungen anwenden. Ich will hier für den gelegentlichen und häufigeren Gebrauch der letzteren eintreten.

3075. Ich wünsche die Bedeutung des Ausdrucks *Kraftlinie* so zu beschränken, dass er nicht mehr enthalte als den Zustand der Kraft hinsichtlich ihrer Stärke und Richtung an einer gegebenen Stelle und (einstweilen) keine Vorstellung über die Natur der physischen Ursache der Er-

scheinungen in sich schliesse, oder mit einer derartigen Vorstellung verknüpft oder von ihr irgend abhängig sei. Doch liegt in dem Versuche, auf diesem Wege die Erregung, das Dasein und die Fortpflanzung der physikalischen Kräfte zu begreifen, nichts Unstatthaftes, ebenso wenig wie darin, dass wir dieselben, sobald sie durch den Versuch und Vergleichung gefunden sind, nach irgend einer Methode, deren wir uns zur Darstellung der reinen Kräfte bedienen, zur Anschauung bringen, vorausgesetzt dass hierdurch kein Irrthum entsteht. Im Gegentheil erhält unsere Erkenntniss die grösste Förderung, wenn die Naturwahrheit und deren conventionelle Darstellung am genauesten mit einander übereinstimmen. Hinsichtlich des Lichts liefern die Emissionstheorie und die Aethertheorie solche Beispiele; in Bezug auf Elektricität gilt dasselbe von der Vorstellung eines Fluidums oder der zweier Fluida, und weiter von der daraus entsprungenen Vorstellung eines Stromes, welche unser Denken dermassen eingenommen hat, dass sie bisweilen die Wissenschaft über den wahren Charakter der physischen Agentien in Verwirrung gebracht hat und es am Ende noch in einem Grade thut, wie wir es augenblicklich kaum ahnen. Dasselbe gilt von der Vorstellung eines oder zweier magnetischer Fluida oder von der Annahme magnetischer Kraftcentra, deren Resultanten die Pole sind. Wie die magnetische Kraft sich durch die Körper oder den Raum fortpflanzt, ob es nach Art einer reinen Fernwirkung geschieht, wie bei der Schwere, oder durch ein intermediäres Agens, wie beim Licht, der Wärme, dem elektrischen Strome und (wie ich glaube) der elektrostatischen Wirkung, wissen wir nicht. Die Vorstellung von magnetischen Fluidis, wie sie Manche anwenden, oder von magnetischen Kraftcentren, begreift nicht die der letzteren Fortpflanzungsart in sich, aber wohl thut dies die Vorstellung von Kraftlinien. Der Werth der letzteren wird jedoch dadurch, dass eine andere Darstellungsmethode der Kräfte eine solche Fortpflanzungsart nicht in sich begreift, nicht beeinträchtigt, und die mit dieser in Einklang stehende Darstellungsmethode kommt am Ende dem wahren Sachverhalt in der Natur am nächsten. Im Allgemeinen scheinen die Physiker der Meinung zu sein, dass diese Fälle die bei weitem zahlreichsten sind, und ich für meine Person, wenn ich das Verhalten eines Vacuums zu der magnetischen Kraft und den allgemeinen Charakter der magnetischen Erscheinungen ausserhalb des Magnets bedenke, neige mehr zu der Vorstellung, dass die Fortpflanzung der Kraft auf einem derartigen Vorgang ausserhalb des Magnets beruhe, als dass sie eine blosse Fernwirkung von Anziehung und Abstossung sei. Ein derartiger Vorgang kann eine Function des Aethers sein, denn es ist keineswegs unwahrscheinlich, dass, wenn es überhaupt einen Aether giebt, er noch andere Functionen hat, als bloss die der Fortführung von Strahlungen (2591, 2787). Vielleicht werden wir bei einer klareren Einsicht in diesen Gegenstand den Ursprung der angeblichen Widersprüche zwischen den Resultaten von Coulomb, Harris und

anderen Physikern erkennen und finden, dass es nicht sachliche Widersprüche, sondern bloss graduelle Verschiedenheiten seien, die von partiellen oder unvollkommenen Ansichten über die Erscheinungen und deren Ursachen herrühren.

3076. Magnetische Kraftlinien kann man durch ihre Wirkung entweder auf eine Magnetnadel oder auf einen leitenden, quer durch sie sich bewegenden Körper nachweisen. Jede dieser Wirkungen kann dazu dienen, sowohl die Richtung der Linie als auch die in einem gegebenen Punkte derselben sich äussernde Kraft anzugeben, und je nach den besonderen Umständen wird bald das eine, bald das andere Verfahren mit Vortheil angewandt werden. Die Wirkungen sind jedoch ihrer Natur nach sehr verschieden. Die Wirkung auf die Nadel äussert sich in Anziehungen und Abstossungen; die Wirkung auf den bewegten Leiter oder Draht in der Entstehung eines Elektricitätsstromes. Letztere Wirkung ist gänzlich verschieden von der auf die Nadel und beruht auf einem anderen Spiel der Kräfte, so dass wir hierdurch eine ganz andere Vorstellung von den Eigenschaften der Kraftlinien bekommen, als es durch die Anziehungen und Abstossungen der Nadel je möglich gewesen wäre. Aus diesem und anderen Gründen habe ich vor die Anwendung der Methode an einem bewegten Leiter auseinanderzusetzen.

3077. Die allgemeinen Principien, die bei der Entstehung eines elektrischen Stromes in einem bewegten Drahte unter Einfluss der magnetischen Kräfte in Betracht kommen, sind früher in der Ersten und Zweiten Reihe dieser Untersuchungen mitgetheilt worden (36 etc.), und ich brauche daher hier nichts weiter zu thun, als auf diese besondere Natur der hierdurch gelieferten Angaben im Vergleich zu denen einer Magnetnadel hinzuweisen und zu zeigen, wie diese durch erstere in der Veranschaulichung der magnetischen Wirkungen eine eigenthümliche und wichtige Ergänzung erfahren.

3078. Der bewegte Draht erleidet nachweislich die stärkste Einwirkung nicht, wenn er von Orten stärkerer zu Orten schwächerer Kraft übergeht, oder umgekehrt, sondern wenn er sich an Orten gleichförmiger Wirkung bewegt, d. h. die Kraftlinien senkrecht schneidet (217).

3079. Den Sinn der Polarität bestimmt er durch einen von Pointirung oder Anziehung und Abstossung gänzlich unabhängigen Vorgang, nämlich durch die Richtung des während der Bewegung in ihm erregten elektrischen Stromes.[1])

---

[1]) Eine natürliche Norm dieser Polarität lässt sich mit Bezug auf die Kraftlinien der Erde auf der nördlichen Halbkugel folgendermassen aufstellen: Denkt man sich einen Menschen in unseren Breiten sich mit ausgestreckten Armen bewegen, so würde die Richtung des elektrischen Stromes, der in einem durch die Arme dargestellten Draht entstehen würde, von rechts durch den Arm und Körper nach links gehen.

3080. Das Princip lässt sich zur Untersuchung der Kräfte sowohl *innerhalb* vieler fester Körper, wie der Metalle, als auch ausserhalb in freier Luft anwenden. Die Verschiedenheit der umgebenden Media bietet selten ein Hinderniss, und das Princip kann ebenso leicht im leeren Raume wie in Flüssigkeiten und Gasen benutzt werden. Es kann daher dort eintreten, wo die Anwendung der Nadel sich verbietet, und in anderen Fällen, wo man, wenn auch nicht ohne beträchtliche Störung durch die umgebenden Media, seine Zuflucht zur Nadel nehmen könnte, lässt sich durch den bewegten Draht ein unmittelbares Resultat erhalten (3142).

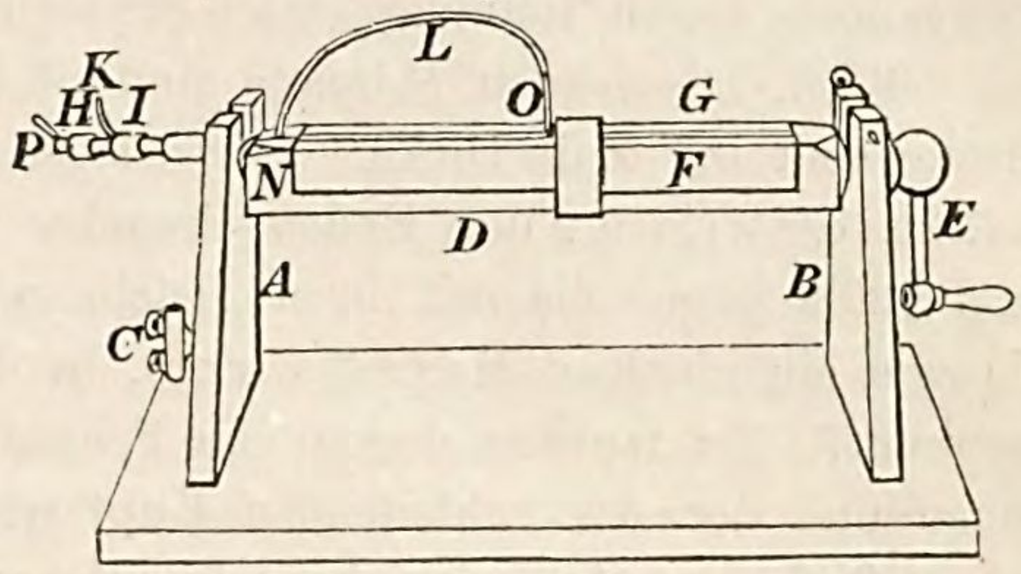
3081. Die Methode lässt sich auch auf das Innere eines Magnets (3116), das doch der Magnetnadel ganz unzugänglich ist, mit derselben Leichtigkeit anwenden.

3082. Mittelst des bewegten Drahtes kann man die resultirende magnetische Wirkung an verschiedenen Orten zugleich erhalten, d. h. die Wirkung eines gewissen Flächenraumes oder Querschnitts der Kraftlinien, und so experimentell Vergleichungen ausführen, welche durch die Nadel nur mit sehr grosser Mühe und dann noch unvollkommen geliefert werden können. Gleichviel ob der Draht die Kraftlinien senkrecht oder schief, in der einen oder anderen Richtung schneidet, er giebt, was das Princip anbetrifft, mit derselben Genauigkeit die Summe der Kräfte an, welche durch die von ihm geschnittenen Linien dargestellt werden (3113).

3083. Sonach kann ein bewegter Draht zu einem genauen wissenschaftlichen Nachweis von der Gegenwart magnetischer Kraft dienen. Nähere Erläuterungen dieser seiner Fähigkeit wird die vorliegende Abhandlung bringen; und wenngleich seine Empfindlichkeit vorläufig nicht an die der Magnetnadel heranreicht, so ist es doch unzweifelhaft, dass sie sehr beträchtlich erhöht werden kann. Die Mannigfaltigkeit der möglichen Anordnungen und der grosse Vortheil dieser Mannigfaltigkeit ist mir selbst bereits ganz klar. Zwar hängen die mit ihm sowohl als auch mit der Nadel zu erlangenden Resultate von wesentlichen Charakteren und Eigenschaften der magnetischen Kraft ab, allein die wirksamen und in die Erscheinung tretenden sind in dem einen Falle sehr verschieden von denen in dem anderen, ich meine, soweit wir bisher die Wirkungen auf wesentliche Charaktere zurückführen können; und diese Verschiedenheit wird uns am Ende einst in den Stand setzen, durch den Draht einen neuen Einblick in die Natur der magnetischen Kraft zu erlangen, und uns schliesslich zu Untersuchungen führen, ob magnetische Polarität axialer Natur oder von queren lateralen Zuständen bedingt ist; ob die Fortpflanzung der Kraft nach Art einer Schwingung oder eines Stromes erfolgt, oder ob sie einfach eine Fernwirkung ist, oder welche Fragen sonst in denen, die sich mit diesem Wissenschaftszweige beschäftigen, auftauchen.

3084. Ich will mich nun eines einfachen Magnetstabes bedienen zur Veranschaulichung dessen, was über die magnetischen Kraftlinien und den bewegten Leiter gesagt ist, sowie auch zu dem Zwecke, um die Vertheilung dieser Kraftlinien ausserhalb und innerhalb des Magnets selbst, durch den sie bedingt sind, oder zu dem sie gehören, zu ermitteln. Zu diesem Ende wandte ich folgenden Apparat an. Fig. 1 zeigt ein hölzernes Gestell, dessen Basis ein 17,5 Zoll langes, 6 Zoll breites und 0,8 Zoll dickes Brett bildet; nach diesen Dimensionen richten sich die der anderen Apparattheile. AB sind zwei Holzständer; D ist eine hölzerne Axe mit zwei langen Aushöhlungen, die zur Aufnahme der beiden Stabmagnete F und G dienen. Das Holz ist quer zur Axe nicht ganz herausgeschnitten, sondern in der Mitte belassen, so dass die Magnete ungefähr $^1/_{15}$ Zoll von einander entfernt sind. Von O bis zum Ständer A ist es jedoch bis zur Umdrehungsaxe herab entfernt, so dass zwischen den beiden Magneten, wenn sie an ihrer Stelle befindlich sind, eine Kerbe gebildet wird, und diese Kerbe ist durch weiteres Ausschneiden des Holzes bis zum Ende der Axe, bis P fortgeführt. Diese Kerbe oder Höhlung soll dazu dienen, einen Draht aufzunehmen, der längs der Rotationsaxe hingeführt und, nachdem er irgendwo zwischen O und N aus dem Zwischenraum der Magnete herausgetreten ist, wieder gegen das Ende P hin auf der Aussenseite zurückgeführt werden kann. Die Magnete sind so gelegt, dass ihre gemeinsame Mittellinie mit der Rotationsaxe zusammenfällt. E ist eine Kurbel, um die erforderliche Rotation zu bewerkstelligen. H und I sind zwei dicht auf der Axe schleifende Kupferringe, die dazu dienen, eine Verbindung herzustellen zwischen einem Draht, der mit den Magneten rotiren soll und den festen Enden von Drähten, die von einem Galvanometer herkommen. Es ist also PL ein übersponnener Kupferdraht, welcher längs der Basis der Kerbe in der Axe des Apparates fortgeführt wird, an dem äquatorialen Theil der Magnete nach aussen geht, nahe bei N wieder in die Kerbe zurückkehrt und in K endigt. Wenn die Drahtschleife gebildet ist, so wird ein Stückchen weiches Holz von solcher Dicke zwischen die Drähte in der Kerbe K gebracht, dass, wenn der Ring I sich an seiner Stelle befindet, er gegen den oberen Draht, das Holzstück und den unteren Draht drückt, alles dicht zusammenhält und gleichzeitig die beiden Drähte wirklich getrennt erhält. Dann wird der zweite Ring H an seinen Ort auf der Axe gebracht, und ein kleiner Holzkeil dient dazu, durch seinen Druck das Ende P in innigen und vollkommenen Contact mit dem Ringe H zu bringen und alles in Ordnung zu halten. So kann der

Fig. 1

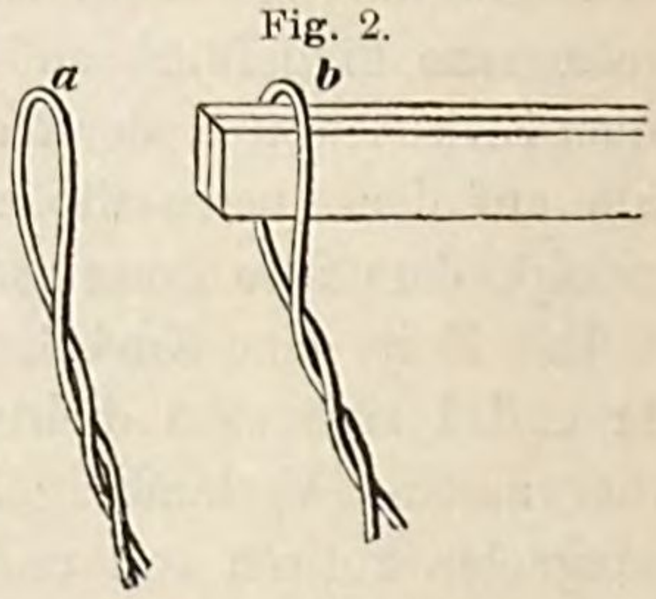


Draht sich frei mit den Magneten drehen, und die Ringe H und I können als seine Enden angesehen werden. Zwei Klemmen wie bei C halten die Enden des Galvanometerdrahtes (gleichfalls von Kupfer), welche vermöge ihrer Elasticität gegen die Ringe drücken und so einen wirklich festen Contact geben, der während der Axendrehung weder durch eine Verschiedenheit der Substanz noch durch Reibung einen Strom erzeugt.

3085. Die beiden Magnete sind Stäbe von je 12 Zoll Länge, 1 Zoll Breite und 0,4 Zoll Dicke. Sie wiegen 19 Unzen und sind von solcher Stärke, dass sie an den Enden einander tragen, aber nicht mehr. An Ort und Stelle liegen sie mit ihren gleichnamigen Polen neben einander, so dass sie wie ein einziger Magnet wirken, in der Mitte durch eine Zwischenwand getrennt. Sie wurden durch eine Schnur oder auch durch einen dicht auf ihnen und der Axe schleifenden Kupferring an ihrer Stelle festgehalten.

3086. Das Galvanometer, ein sehr empfindliches Instrument von Ruhmkorff (2651), war ungefähr 6 Fuss von dem magnetischen Apparat aufgestellt, durch dessen Umdrehung es keine Einwirkung erlitt. Die dasselbe mit den Magneten verbindenden Kupferdrähte von 0,04 Zoll Durchmesser hatten eine Gesammtlänge von etwa 25 Fuss. Die Länge des Galvanometerdrahtes kenne ich nicht, sein Durchmesser betrug $^1/_{135}$ Zoll. Die Beschaffenheit des Galvanometers, der Drähte und Magnete war derart, dass, wenn eine aus den Drähten gebildete Schleife einmal über den Pol des Magnetsystems hingeführt wurde, beispielsweise von *a* nach *b*, Fig. 2, die Galvanometernadel um zwei Grad und darüber

Fig. 2.



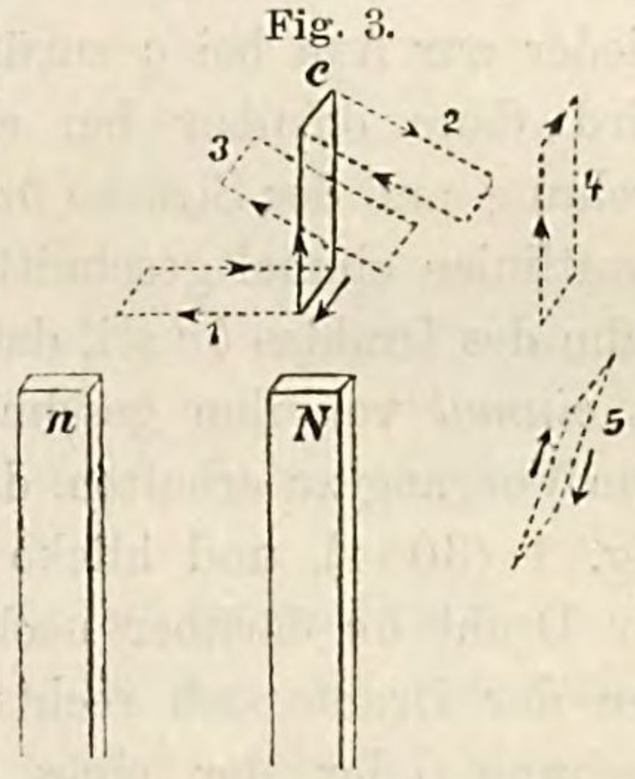
abgelenkt wurde. Die Schwingung der Nadel erfolgte langsam, und es war daher leicht, diesen Vorgang fünf- bis sechsmal oder noch häufiger zu wiederholen und so, indem man den Contact mit dem Galvanometer in den geeigneten Intervallen herstellte und unterbrach, die Wirkung der gleichgerichteten Inductionsströme zu combiniren; auf diese Weise liess sich leicht eine Ablenkung von 10^0 bis 15^0 in dem einen oder anderen Sinne erhalten. Der Apparat war also für die ersten Versuche hinlänglich empfindlich. Der Widerstand des langen dünnen Galvanometerdrahtes war zwar in Anbetracht schwacher Ströme bedeutend, allein da er stets derselbe blieb, so konnte er die Resultate, deren schliesslicher Effect 0^0 entsprach, nicht stören, ebenso wenig diejenigen, die nicht durch absolute Massbestimmungen, sondern durch relative Verschiedenheiten gegeben wurden.

3087. Das erste praktische Resultat mit dem beschriebenen Apparat in Bezug auf magnetoelektrische Induction im Allgemeinen besteht darin, dass in einem Stück Metall oder leitender Substanz, das sich quer zu den magnetischen Kraftlinien bewegt, ein elektrischer Strom entsteht oder eine Tendenz hierzu verhanden ist. Ein strengerer und genauerer Ausdruck

des Gesammtvorganges ist folgender. Denkt man sich einen geschlossenen Kreis leitender Substanz, sei es in einer festen oder flüssigen Metallmasse oder anderer leitender Substanz, sei es in Drähten oder Metallstäben, die in nicht leitender Substanz oder im freien Raume liegen, entweder in Bewegung, magnetische Kraftlinien schneidend, oder in Ruhe durch Bewegung eines Magnets von solchen Kraftlinien geschnitten; und denkt man sich ferner, dass in Folge einer Ungleichheit der Winkelbewegung oder entgegengesetzter Bewegung verschiedener Theile des Kreises oder einer Ungleichheit der Bewegung in einer und derselben Richtung der eine Theil mehr oder weniger Kraftlinien schneidet als der andere, so wird in dem ganzen Kreise ein Strom existiren, der eben von der verschiedenen Relation zweier oder mehrerer Theile zu den Kraftlinien während der Dauer der Bewegung herrührt. Die Richtung dieses Stromes wird (bei gegebener Polaritätsrichtung der Linien) bestimmt von der Richtung der Durchschneidung in den zwei oder mehr wirksamen und bedingenden (oder geschnittenen) Theilen des Kreises.

3088. Es sei beispielsweise in Fig. 3 N ein Magnetpol und darüber eine geschlossene metallische Curve von beliebiger Gestalt zunächst in der Lage *c* und werde dann in dem einen Sinne in die Lage 1, oder in entgegengesetztem Sinne in die Lage 2 gedreht, oder durch eine doppelte Drehung in die Lage 3 gebracht, oder in die Lage 4 oder 5, oder in irgend eine Lage zwischen der ersten und den anderen oder in eine denselben analoge übergeführt; oder der Kreis behalte die Lage *c* und der Pol werde in die Lage *n* hin bewegt, so wird in ersterem ein Strom entstehen, der in allen diesen Fällen dieselbe, nämlich die in der Figur durch die Pfeile angedeutete Richtung hätte. Bei umgekehrter Bewegung werden auch die Ströme die entgegengesetzte Richtung haben (256 etc.).

Fig. 3.



3089. Die allgemeinen Principien, die Entstehung elektrischer Ströme durch magnetische Induction betreffend, sind früher gegeben worden (27 etc.)[1]), sowie auch das Gesetz über die Richtung des Stromes mit Bezug auf die Kraftlinien aufgestellt worden ist (114, 3079 Anm.). Allein in ihrer vollen Bedeutung kann die obige Darlegung erst später gewürdigt werden, nachdem die experimentellen Resultate, die eine ausgedehntere Kenntniss der Beziehungen des Stromes zu den *Kraftlinien* abgeben, beschrieben sein werden.

3090. Wenn von *Kraftlinien* gesprochen wird, insofern sie einen

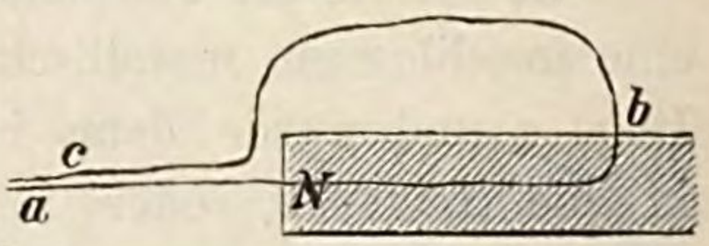
---

[1]) Philosophical Transactions, 1832, p. 131 etc.

leitenden Kreis (3087) schneiden, so muss man sich dies durch die *Fortbewegung* eines Magnets bewirkt denken. Eine blosse Rotation eines Magnetstabes um seine eigene Axe bewirkt keine Induction in äusseren Kreisen, da in diesem Falle die oben angegebenen Bedingungen (3088) nicht erfüllt sind. Das den Magnet umgebende Kräftesystem braucht man sich nicht nothwendig mit dem Magnet rotiren zu denken, so wenig wie man annimmt, dass die Lichtstrahlen, welche von der Sonne ausgehen, mit dieser rotiren. Man kann sich sogar in gewissen Fällen (3097) denken, dass der Magnet zwischen seinen eigenen Kräften rotire, während er dennoch einen am Galvanometer nachweisbaren vollen elektrischen Effect hervorbringt.

3091. Zunächst wurde der Draht die Axe entlang bis zur Mitte geführt, von dem äquatorialen Theil nach aussen und an der Aussenseite zurückgeführt. Fig. 4 zeigt eine solche Anordnung. Denkt man sich den Magnet und den Draht zugleich rotiren, so kann man sich offenbar vorstellen, dass der Draht a in Richtung der Axe des Magnets eintrete und von b quer zu den Kraftlinien ausserhalb des Magnets wieder zur Axe bei c zurückkehre; der Draht wird dann offenbar bei einer einzigen Umdrehung auf der Strecke bc alle von dem Ende N des Magnets ausgehenden Kraftlinien einmal geschnitten haben. Mit anderen Worten, welches auch die Bahn des Drahtes bc sei, das gesammte zu dem Magnet gehörige Liniensystem ist *einmal* von ihm geschnitten worden. Um eine richtige Vorstellung von dem Vorgang zu erhalten, denken wir uns, eine Person stehe an der Kurbel E, Fig. 1 (3084), und blicke längs der als fest gedachten Magnete, während der Draht bc darüber nach links in eine Horizontalebene gedreht sei; wird nun der Draht nach rechts herüber bewegt, was also einer *rechtläufigen* Drehung (oder der eines Uhrzeigers) um 180^0 entspricht, während der Magnet still liegen bleibt, so wird ein am Galvanometer nachweisbarer schwacher Strom von bestimmter Richtung entstehen. Wird der Draht in entgegengesetzter Richtung um 180^0 zurückgedreht, so wird ein dem vorigen entsprechender, aber entgegengesetzt gerichteter Strom entstehen. Ebenso wird ein Strom entstehen, wenn der Draht in einer verticalen oder irgend einer anderen Ebene gehalten wird, so dass er als fest betrachtet werden kann, und der Magnet eine halbe Umdrehung vollführt, und zwar wird die Stromrichtung von der Drehungsrichtung des letzteren bedingt sein, derart, dass die *Richtung* des bei einer *rechtläufigen* Umdrehung des Drahtes entstehenden Stromes dieselbe ist, wie die Richtung des Stromes, der bei der *entgegengesetzten* Drehung des Magnets auftritt, während die *umgekehrte* Drehung des Drahtes einen Strom von derselben Richtung hervorruft, wie die *rechtläufige* Drehung des Magnets. Eine genauere Darlegung der Beziehung

Fig. 4.

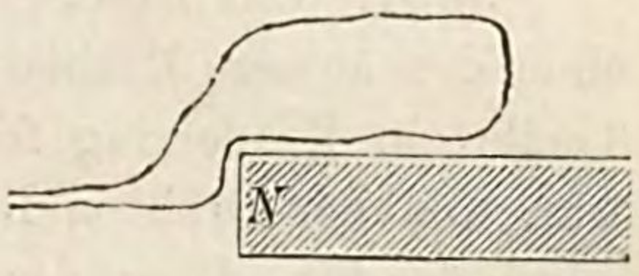


der Richtung des Stromes zu dem Vorzeichen des Poles und zur Drehungsrichtung des Drahtes oder Magnets ist einstweilen nicht nothwendig, doch ist dieselbe, wenn erforderlich, aus Fig. 3 (3088) oder dem allgemeinen Gesetz (114, 3079 Anmerk.) leicht zu erhalten.

3092. Wurden der Magnet und die Drahtschleife gleichzeitig in der einen oder anderen Richtung in Umdrehung versetzt, so war keine Spur eines Stromes wahrzunehmen. Wenn eine solche Wirkung vorhanden gewesen wäre, so hätte sie bedeutend verstärkt werden können, da 10 oder 20 oder eine beliebige Anzahl von Umdrehungen ohne jede Störung ausgeführt werden konnten, und es liessen sich leicht dreissig Umdrehungen und darüber während der Zeit ausführen, während welcher die Galvanometernadel eine Schwingung in der einen Richtung machte. Auch hätte sich die Wirkung auf das Galvanometer, wenn eine solche vorhanden gewesen wäre, leicht durch Umkehrung der Rotationsrichtung im geeigneten Zeitmomente verstärken lassen. Allein welchen Betrag auch die gleichzeitige Umdrehung des Magnets und Drahtes haben mochte, dieselbe gab keinen Effect.

3093. Nun wurde die Drahtschleife aus der Axe des Magnets entfernt, an diesen jedoch durch ein Stück Pappe befestigt, so dass alles fest mit einander verbunden war und mit derselben Winkelgeschwindigkeit rotiren musste, Fig. 5; allein welche Gestalt oder Anordnung die Drahtschleife haben mochte, ob sie gross oder klein, nahe oder entfernt, offen oder geschlossen war, in einer Ebene oder, gebogen, in verschiedenen Ebenen lag, in welchem Zustande oder Orte sie sich befand, — bei gleichzeitiger Umdrehung mit dem Magnet entstand kein Strom.

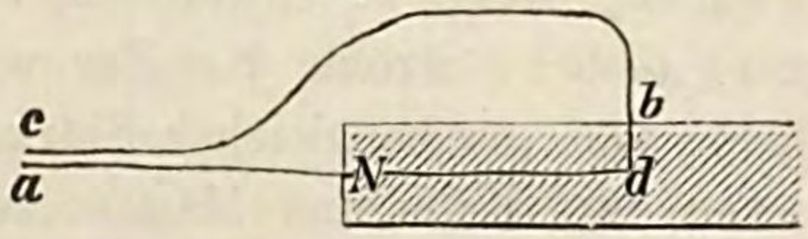
Fig. 5.



3094. Ebensowenig entstand ein Strom in der Drahtschleife, wenn dieselbe durch besondere Anordnungen ausserhalb der Magnete festgehalten wurde, während der Magnet, wie schnell auch immer, rotirte (ohne dass dabei eine translatorische Bewegung stattfand).

3095. Nun wurde die Drahtschleife aus zwei Theilen gebildet; der Theil *c*, Fig. 6, an der Aussenseite des Magnets wurde bei *b* befestigt, während das gesonderte Stück *a* längs der Axe hingeführt wurde, bis es mit dem vorigen bei *d* in Berührung kam. Auf diese Weise konnte ein Theil ohne den anderen oder mit demselben rotiren und dabei stets in metallischem Contact erhalten werden und einem etwaigen Inductionsstrom einen vollständig geschlossenen Kreis darbieten. Wie gross in diesem Falle der Betrag der Umdrehung des Drahtstückes *a* sein mochte, es entstand kein Strom, wenn der äussere Draht und der Magnet fest waren. Ebensowenig entstand

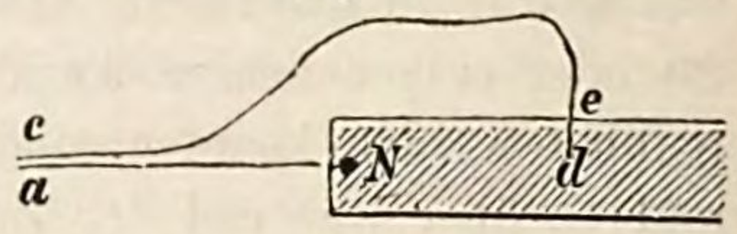
Fig. 6.



ein Strom bei gleichzeitiger Umdrehung des Magnets und des Drahtes *c d*, gleichviel ob der Draht *a* mit ihnen rotirte oder nicht. Dagegen traten wie oben (3091) Ströme auf, wenn der Magnet ohne das äussere Drahtstück *c d*, oder dieses ohne den Magnet rotirte.

3096. Hierauf wurde der Magnet folgendermassen in den Kreis eingeschaltet. Der Draht *a*, Fig. 7, wurde zu beiden Seiten des Zwischenraumes zwischen den Magneten bei N (oder dem Pole), und das Stück *c* mit der Mitte bei *d* in metallischen Contact gebracht. Das Resultat war in jeder Hinsicht dasselbe, wie wenn der Draht sich bis *d* fortgesetzt hätte,

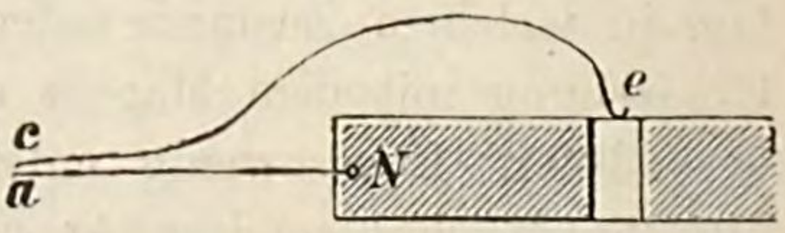
Fig. 7.



d. h. eine gleichzeitige Umdrehung des Magnets und des Drahtstückes *c* brachte keinen elektrischen Strom hervor. Liess man *c* bei *e* oder dem äquatorialen Theile des Magnets enden, oder liess man, wenn *c* bei *e* endigte, das Drahtstück sich bis zur Mitte bei *d* fortsetzen und dort den Contact bewirken, so war das Resultat genau dasselbe. Es machte also keinen Unterschied, ob man zur Schliessung des Kreises, in welchem der Inductionsstrom circuliren sollte, anstatt eines isolirten Kupferdrahtes, die Theile des Magnets zwischen N und *d* oder *d* und *e* anwandte. Eine Rotation des Stückes *a* brachte keine Wirkung hervor, wo es auch endigen mochte.

3097. Um zu ermitteln, welche Wirkung die Rotation des Magnets ohne das äussere Drahtstück habe, wurde um ersteren an dem äquatorialen Theile ein Kupferring fest aufgesetzt, so dass er mit diesem in Contact war, und der Draht *c*, Fig. 8, mittelst einer Feder gegen diesen Ring, sowie gegen den Ring H auf der Axe, Fig. 1 (3084),

Fig. 8.

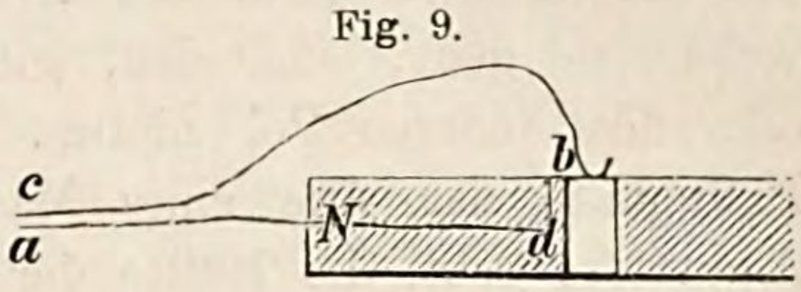


gedrückt; von der Continuität des Kreises überzeugte man sich durch den Versuch. Wenn nun der Draht *ce* festlag und der Magnet in Umdrehung versetzt wurde, so entstand ein Strom, und zwar war er bei derselben Anzahl von Umdrehungen von der gleichen Stärke, gleichviel ob das Drahtstück *a* bei N endigte oder sich bis zur Mitte des Magnets oder isolirt von demselben sich bis zum Kupferring *e* fortsetzte. Liess man den Draht, was auf zwar rohe, aber ausreichende Weise geschehen konnte, rotiren, während der Magnet festlag, so entstanden, entsprechend dem früher beschriebenen Vorgang (3091), Ströme von der vorigen entgegengesetzter Richtung; und dass beide von genau gleicher Stärke sind, zeigt das Resultat, das man erhält, wenn der Draht und Magnet zusammen rotiren (3092). Lag der innere wie der äussere Draht fest, während der Magnet allein rotirte, so trat ein durchaus entsprechender Strom auf, gleichviel ob der axiale Draht mit dem Ende oder der Mitte des Magnets in Berührung gebracht wurde.

3098. Eine andere Anordnung des Magnets und der Drähte war folgende. In der Mitte der Magnete bei *d*, Fig. 9, wurde ein Draht be-

festigt, der isolirt von hier radial nach der Peripherie b ging und hier mit dem äquatorialen Ring (3097) verbunden war; diesen radialen Draht berührte in der Mitte ein axialer Draht, der von hier nach aussen ging; das äussere Drahtstück presste gegen den äquatorialen Ring und ging von dort aussen über den Pol hinweg, um wie früher den Kreis zu schliessen.

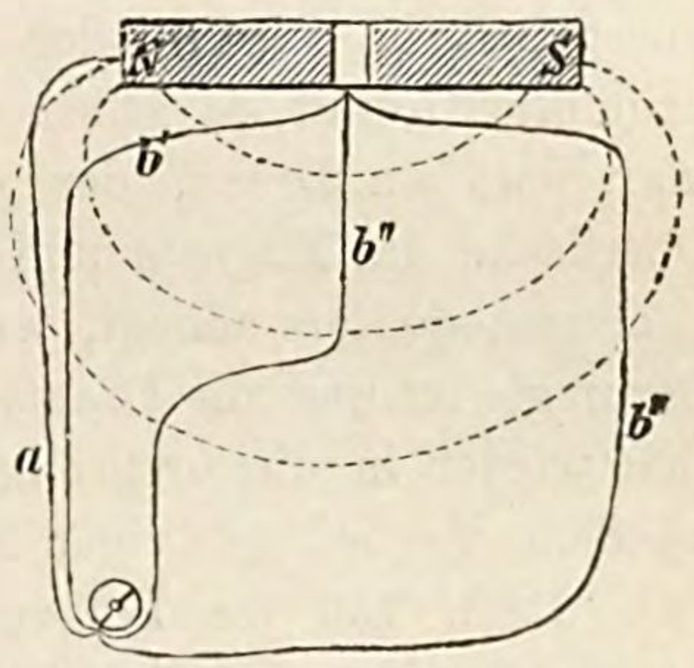
Fig. 9.



Rotirte der Magnet ohne den axialen und den äusseren Draht, so trat ein Strom von entsprechender Stärke auf; dabei war es jedoch einzig und allein das Drahtstückchen db, in welchem dieser Strom durch die Bewegung entstehen konnte, denn er ersetzte unter diesen Umständen den in dem früheren Falle (3097) angewandten Magnetkörper.

3099. Wurde das äussere Drahtstück nicht über den Pol des Magnets, an welchem der axiale Draht eintrat, zurückgeführt, sondern ging er über den anderen Pol fort und so in einem grossen Bogen zum Galvanometer, so lieferte die Umdrehung des Magnets unter irgend welchen der hier beschriebenen Umstände genau dieselben Resultate wie vorher. Ein Blick auf Fig. 10 lässt deutlich erkennen, dass, wie auch die Drähte geführt werden mögen, das allgemeine Resultat in Uebereinstimmung mit dem angenommenen Wirkungsprincip dasselbe sein wird; denn wenn a den axialen Draht, b', b'', b''' den äquatorialen Draht in drei verschiedenen Lagen darstellt, so sieht man, dass die Kraftlinien, welche den letzteren in der einen Lage schneiden, ihn auch in der anderen und in *jeder*, die man dem Draht geben kann, schneiden werden. Dass die Entfernung der Stelle, wo die Kraftlinien den Draht schneiden, unwesentlich ist, haben die Versuche (3093) ergeben.

Fig. 10.



3100. Betrachtet man den Zustand der Kräfte eines Magnets, so kann man annehmen, dass die beiden bei den beschriebenen Versuchen angewandten Magnete wirklich wie Ein centraler Magnet wirken. Wir brauchen uns bloss zwei kleinere ähnliche Magnete in dem nicht von dem Draht eingenommenen engen Raum zu denken und hätten damit den Magnet vollständig; oder wir können es so betrachten, dass aus einem Magnet gewisse Theile ausgeschnitten wären, und wie wir wissen, würde keine dieser Aenderungen die allgemeine Vertheilung der Kräfte stören. In und um den Magnetstab sind die Kräfte in der einfachsten und regelmässigsten Weise vertheilt. Gesetzt, der Stab sei anderen magnetischen Einflüssen entzogen, so müssen wir annehmen, dass seine Kraft sich dem bekannten Gesetze zufolge auf beliebige Entfernung erstrecke; und wenn wir von der Vorstellung der *Kraftlinien* (3074) ausgehen, so muss jeder Draht oder jede Linie, die

von einem Punkte des Aequators des Magnetstabes aus längs der magnetischen Axe über einen der Pole hinweggeht und von hier zu einem Punkte auf der anderen Seite des Aequators, *alle* Linien in der Ebene, durch welche sie geht, schneiden, gleichviel ob sie ihren Weg über den einen oder den anderen Pol nimmt. So muss auch ein Draht, der von dem Endpunkte der Axe eines Magnets zu einem Punkte des magnetischen Aequators geht, die Hälfte der Curven einer grössten Ebene schneiden, wie kurz oder wie lang der Draht sein mag, auch wenn er bei gekrümmtem Verlauf auf seinem Wege zum Aequator aus einer Ebene in eine andere übergeht.

3101. Wenn ferner ein Draht wie der zuletzt beschriebene sich einmal um das Ende des Magnets, an dem er befestigt ist, dreht, was durch einen Schleifcontact am Aequator ermöglicht wird, so wird er während der Umdrehung *alle* die Kraftlinien schneiden, gleichviel ob der Contact am Pole genau mit der magnetischen Axe zusammenfällt oder irgendwo anders an dem Stabe liegt, vorausgesetzt dass er während der Zeit ungeändert bleibt. All dies behält seine Geltung auch, wenn der Magnet der Induction anderer entfernter Magnete oder sonstiger Massen ausgesetzt ist und er selbst eine Wirkung auf sie ausübt, so dass die Vertheilung der Kraft im Vergleich zu dem Falle des unbeeinflussten Magnetstabes (3084) sehr unregelmässig wird, oder auch wenn er eine unregelmässige oder gekrümmte Gestalt, ja selbst die Hufeisenform hat. Es ist in der That auch klar, dass ein Draht, der mit einem Ende an *irgend einem* Punkte der Oberfläche des Magnets und mit dem anderen an einem Punkte des magnetischen Aequators anliegt, wenn dieses einmal um den magnetischen Aequator herumgleitet und die Drahtschleife über beide Pole hinweggeht, um schliesslich wieder in die ursprüngliche Lage zurückzukehren, auf seiner Bahn alle zu dem Magnet gehörigen Kraftlinien *einmal* geschnitten haben wird.

3102. Ein von Pol zu Pol gehender, am Aequator dicht anliegender Draht schneidet natürlich die Hälfte der äusseren Kraftlinien in einer grössten Ebene zweimal, was die Polarität anbetrifft, in entgegengesetzter Richtung, und daher wird in ihm bei einer Umdrehung um den Magnet kein elektrischer Strom inducirt. Wenn er den Aequator nicht berührt, so schneidet er doch sämmtliche Linien zweimal, und daher bleibt das Gleichgewicht erhalten. Rotirt der Magnet unter dem Drahte hinweg, so spielt er die Rolle des rotirenden centralen Drahtes, von dem bereits die Rede war (3095); nimmt man an, dass der elektrische Strom in ihm eine andere als geradlinige Bahn habe, so unterliegt diese dem oben aufgestellten Neutralitätsgesetze, wie man aus einer Betrachtung des inneren Zustandes des Magnets selbst erkennen wird (3117). Darin liegt der Grund, dass bei Anlegung solcher leitender Kreise an den Magnet unter keinen Bewegungsumständen Ströme entstehen. Ich darf ferner mit Bezug auf das Durchschneiden der Kraftlinien bemerken, dass, wenn ein ringförmiger Draht von etwas grösserem Durchmesser als der des Magnets an den Rand des letzteren so angelegt

wird, dass die Kraftlinien in seine Ebene fallen, und nun um 90^0 gedreht und über den Pol nach dem Aequator hin geführt wird (3088), er alle magnetischen Linien mit Ausnahme der sehr wenigen am Aequator *einmal* schneiden wird.

3103. Will man die durch die *Kraftlinien* dargestellte Grösse der Kraft experimentell bestimmen, so muss man gewisse Vorsichtsmassregeln beobachten, ohne die man ein falsches Resultat erhalten würde. So sollten beispielsweise zehn Umdrehungen des Drahtes um den Magnet oder des Magnets innerhalb des festen Drahtes (3097) eine constante Ablenkung am Galvanometer ergeben, während doch die Resultate, ohne dass in der Lage des Drahtes etwas geändert würde, zu verschiedenen Zeiten sehr beträchtlich von einander abweichen können, so dass die Ablenkung das eine Mal 9^0, ein anderes Mal nur 4^0 oder 5^0 beträgt. Den Grund finde ich in einer Verschiedenheit der Geschwindigkeit innerhalb gewisser Grenzen, was sich folgendermassen erklären und umgehen lässt.

3104. Wenn ein Draht sich langsam quer zu den Kraftlinien bewegt, so entsteht in ihm ein schwacher elektrischer Strom, der so lange dauert als die Bewegung; bewegt er sich schneller durch diese Linien, so entsteht ein kürzere Zeit dauernder stärkerer Strom. Der Ablenkung der Galvanometernadel durch den Strom wirkt der Erdmagnetismus entgegen, welcher die Nadel in ihre Nulllage zurückzuführen strebt. Ein continuirlicher schwacher Strom kann daher keine so starke Ablenkung hervorbringen als ein stärkerer, gleichfalls continuirlicher Strom. Denselben Erfolg haben auch Ströme von begrenzter Dauer, wenn die Schwingungsdauer der Nadel nicht beträchtlich grösser ist als die Dauer der Ströme. Beträgt die Schwingungsdauer der Nadel zehn, und ist sechs die Zeit, während welcher zehn rasche Umdrehungen gemacht werden, so erfolgt die gesammte Einwirkung des Inductionsstromes während der Schwingung der Nadel; ist jedoch zwölf oder fünfzehn die Zeit, während welcher zehn langsame Umdrehungen gemacht werden, so giebt sich ein Theil des Stromes nicht durch die Grösse der Elongation zu erkennen, sondern bloss dadurch, dass die Nadel eine Weile an dem Endpunkte einer kleineren Amplitude festgehalten wird. Wollte man daher grössere und kleinere Geschwindigkeiten mit einander vergleichen, so wurde bei den mit einander zu vergleichenden Rotationen des Drahtes und Magnets stets nur diejenige Anzahl von Umdrehungen genommen, welche in der Zeit, während welcher die Nadel nach einer Seite ausschlug, ausgeführt werden konnten, und dann sah man die Nadel nach der Rotation und nach dem Verschwinden des Inductionsstromes zu dem Endpunkte ihrer Elongation weiter gehen. Jeder Versuch, bei dem die Nadel in dem Augenblick zurückzukehren begann, da die Bewegung aufhörte, wurde als zur Vergleichung unbrauchbar verworfen. Wenn man diese Vorsichtsmassregel beachtete und solche Umdrehungsgeschwindigkeiten wählte, welche ein Drittel bis drei Viertel der Schwingungsdauer der Nadel betrugen, so erhielt man bei gleicher Umdrehungszahl (zehn) dieselbe Ablenkung, nämlich bei meinem

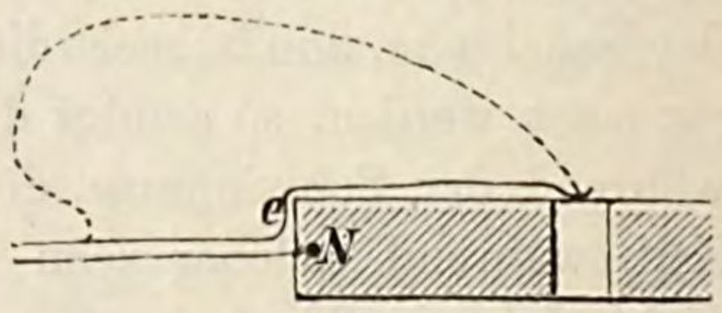
Instrument $9^0,5$, obschon die Umdrehungszeit wie 1:2 oder in einem noch stärkeren Verhältniss variirte.

3105. Ein anderer Grund der Abweichungen bei verschiedener Geschwindigkeit ist die Verringerung der Einwirkung des Stromes auf die Nadel in dem Maasse, als der Winkel, welchen diese mit den Windungen der Spirale macht, wächst. Daher bewirkt ein constanter Strom in den ersten Zeitmomenten eine grössere Ablenkung der Nadel als später. Dieser Einfluss war jedoch bei Ablenkungen von 9^0 bis 10^0, hervorgebracht durch Ströme, die abgelaufen waren, ehe die Nadel einen Bogen von 4^0 bis 5^0 durchlaufen hatte, kaum merklich.

3106. Es ist bereits gezeigt worden, dass es gleichgültig ist, ob der Draht sich in der einen oder der Magnet sich in der anderen Richtung dreht (3091), und hierfür liefern einen Beweis die Fälle, in denen der Magnet und der Draht zusammen rotiren (3092); denn in diesen Fällen sind die Ströme, die sich auszubilden suchen, welche Lage auch immer der Draht haben mag, einander genau gleich und entgegengesetzt. Da die Ruhelage der Nadel sich leichter constatiren lässt als die Grösse eines Ausschlages, der nur einen Moment dauert, und da sich die gemeinschaftliche Umdrehung des Magnets und Drahtes rasch und continuirlich ausführen lässt, so ist gerade dieser Beweis sehr befriedigend.

3107. Um den Einfluss des *Abstandes* des Drahtes c, Fig. **11**, von dem Magnet zu untersuchen, wurde bald ein nur 8 Zoll langer, nur einen halben Zoll vom Magnet abstehender Draht

Fig. 11.



(aus Kupfer von 0,04 Zoll Durchmesser), bald ein 6 bis 8 Fuss langer in grossem Abstande vom Magnet angewandt. Für jede Lage des Drahtes wurde das Mittel aus mehreren Beobachtungen der Ablenkung, die durch zehn Umdrehungen hervorgerufen wurde, genommen. Dieselben waren (bei Beachtung der oben erwähnten Vorsichtsmassregeln) für dieselbe Lage sehr genau einander gleich, und die Mittel für verschiedene Lagen stimmten vollkommen miteinander überein und betrugen $9^0,5$. Ich bemühte mich, diese Versuche über den Einfluss der Entfernung in der Art zu wiederholen, dass ich in der oben beschriebenen Weise (3091) den Draht bewegte und den Magnet ruhen liess; dieselben waren nicht so schlagend, weil sich in der Zeit nur kleinere Ablenkungen erhalten liessen (3104), allein dieselbe Anzahl der Drehungen um 180^0 gab dieselbe Ablenkung am Galvanometer, gleichviel ob die Bahn des Drahtes dicht am Magnet oder weit von ihm ab lag; auch stimmte die Ablenkung mit der überein, welche erhalten wurde, wenn der Magnet rotirte und der Draht in Ruhe blieb.

3108. Was die *Geschwindigkeit* der Bewegung betrifft, so ergab sich, dass, wenn der Magnet rotirte, während der Draht sich in *verschiedenem*

Abstande von ihm befand, zehn Umdrehungen des Magnets dieselbe Ablenkung der Nadel hervorbrachten, gleichviel ob die Bewegung eine *raschere* oder *langsamere* war, und welchen Abstand er hatte, vorausgesetzt dass die oben erwähnten Vorsichtsmassregeln beachtet wurden (3104). Dass dasselbe gelten würde, wenn der Draht sich bewegte und der Magnet ruhte, ergiebt sich daraus, dass, wenn Draht und Magnet bei beliebiger Geschwindigkeit und beliebigem Abstand von einander zusammen rotirten, sie sich genau neutralisirten und ausglichen (3096).

3109. Aus diesen Ergebnissen lassen sich folgende Schlüsse ziehen. Der *Betrag* der magnetischen Kraft, wie er sich durch Erregung elektrischer Ströme zu erkennen giebt, ist bei denselben Kraftlinien ein bestimmter und unabhängig von der Entfernung des Punktes oder der Ebene vom Magnet, in welcher ihr Einfluss sich geltend macht. Oder er ist derselbe in jedem Querschnitt derselben Kraftlinien, welches auch ihre Gestalt oder ihre Entfernung von dem Sitze der Kraft sein mag. Dies ergiebt sich aus den Resultaten, die man erhält, wenn beide, der Magnet und der Draht, in den Kreis eingeschlossen sind (3108), ebenso auch wenn die Drahtschleife sich mit dem Magnet dreht (3092), wobei die Tendenz der Strombildung in den beiden Theilen einander entgegenwirkt, sich genau neutralisirt oder aufhebt.

3110. In dem letzteren Falle kann man sehr verschiedene Querschnitte ausserhalb des Magnets mit einander vergleichen. So kann man sich denken, dass der Draht durch die Kraftlinien in der Nähe des Poles gehe (oder er kann wirklich so gestaltet sein, dass er sie schneidet) und dann sich *längs* einer Kraftlinie bis über den Aequator fortsetzend so gerichtet werde, dass er dieselben Kraftlinien in entgegengesetzter Richtung schneidet und wiederum längs einer Kraftlinie zu seinem Ausgangspunkt zurückkehrt; so lassen sich zwei Querschnitte mit einander vergleichen. Es ist klar, dass durch jeden geschlossenen Drahtkreis, der in einer durch die Axe des Magnets gehenden grössten Ebene liegt, genau dieselben Kraftlinien ein- und austreten, obschon sie, so zu sagen, in dem einen Theil sich ausbreiten und in dem anderen sich zusammendrängen oder (um in der Sprache der Strahlung zu reden) in dem einen Theile von grösserer Intensität sind als in dem anderen. Es ist ebenso klar, dass, wenn die Drahtschleife nicht in Einer Ebene liegt, sie doch bei einer ganzen Umdrehung mit oder ohne den Magnet in ihren zwei gegenüberliegenden Theilen genau von derselben Anzahl Kraftlinien geschnitten werden wird. Daher lässt sich ein beliebiger Querschnitt mit einer gegebenen Anzahl Kraftlinien in sehr weitem Umfang mit einem beliebigen anderen experimentell vergleichen.

3111. Diese Resultate beweisen, dass unter den vorliegenden Umständen die magnetische Kraft durch die Entfernung keinen Verlust, keine Zerstörung, keinen Schwund erleidet und keinen latenten Zustand annimmt.

3112. Auch die Convergenz oder Divergenz der Kraftlinien bewirkt keinen Unterschied in ihrem Betrage.

3113. Ebensowenig bewirkt die Neigung des Durchschnitts einen Unterschied. Es ist leicht, der Drahtschleife eine solche Gestalt zu geben (3110), dass sie die Kraftlinien an beiden Schnittstellen senkrecht schneidet, oder an der einen senkrecht, an der anderen schief oder an beiden schief in beliebigem Grade, und dennoch bleibt das Resultat das nämliche (3093).

3114. Es geht auch aus den Resultaten, welche bei der Umdrehung des Drahtes und Magnets erhalten werden (3097, 3106), hervor, dass, wenn ein Draht sich durch gleiche Linien (oder in einem Felde von gleichförmiger magnetischer Intensität) mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt, der entstehende Elektricitätsstrom proportional der *Zeit* und der *Geschwindigkeit* der Bewegung ist.

3115. Dieselben beweisen auch allgemein, dass die in dem Strome circulirende Elektricitätsmenge direct proportional der Anzahl der geschnittenen Kraftlinien ist.

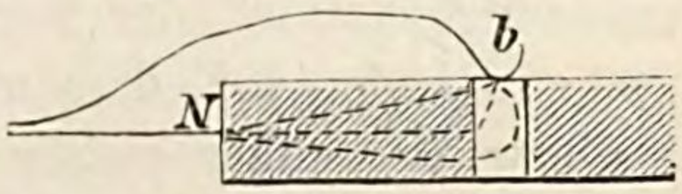
3116. Abgesehen von diesen Ergebnissen gewährt diese Untersuchungsmethode einen bedeutenden Einblick in den inneren Zustand des Magnets und die Art, wie die Kraftlinien (die ein wahrer Ausdruck alles dessen sind, was wir über die eigenthümliche Wirkung des Magnets wissen) ausser ihm oder in irgend welchen als Pole zu bezeichnenden Punkten endigen oder sich innerhalb fortsetzen und vertheilen. Zu diesem Zwecke wollen wir die äussere Drahtschleife (3093) der Fig. 5 betrachten. Dreht sie sich mit dem Magnet, so entsteht kein Strom, weil die Kraftlinien, die an dem einen Theil geschnitten werden, an dem anderen abermals in entgegengesetztem Sinne geschnitten werden (3110). Aber auch wenn ein Theil der Drahtschleife abwärts und längs der Axe des Magnets geführt wird, und der Draht dann am Aequator nach aussen tritt (3091), ist der Erfolg ein negativer, und doch ist es klar, dass ausserhalb des Magnets jeder Theil des Drahtes durch Kraftlinien geht, welche zusammenwirken, einen Strom hervorzurufen, da in diesem Falle alle äusseren Kraftlinien von dem Drahte bei Einer Umdrehung geschnitten werden (3101). Wir müssen also zusehen, ob nicht auf den Theil des Drahtes *innerhalb* des Magnets eine der äusseren gleiche Kraft wirkt, und wir finden sie in dem kleinen Stück, das einen Radius an dem centralen und äquatorialen Theil bildet. In der That entstand kein Strom, wenn der axiale Draht rotirte (3095), ebensowenig wenn der axiale, der innere radiale und die äusseren Theile zusammen rotirten; rotirte der äussere Draht allein *rechts herum*, so entstand ein Strom (3091), und ebenso entstand ein diesem entgegengesetzt gerichteter Strom, wenn der (von dem Magnet isolirte) innere radiale Draht *rechts herum* rotirte

(3095, 3098); beide Ströme waren von gleicher Stärke, denn wenn beide Drahtstücke zusammen *rechts herum* gedreht wurden, so hoben sie sich völlig auf (3095). Der radiale Draht kann durch den Magnet selbst ersetzt werden (3096, 3118).

3117. Wir haben hier somit einen Beweis, dass im Innern des Magnets Kraftlinien existiren von derselben *Natur* wie die äusseren. Ja noch mehr, ihre *Anzahl* ist genau gleich der der äusseren. Ihre *Richtung* steht in Beziehung zu der der äusseren, sie sind thatsächlich Fortsetzungen derselben, und so weit als die experimentellen Beweise für sie Geltung haben, vollkommen ungeändert in ihrer Natur. Jede Kraftlinie muss also, welchen Abstand sie auch von dem Magnet haben mag, als ein geschlossener Kreis angesehen werden, der in einem Theile seines Verlaufs durch den Magnet geht und in jedem Theile seiner Bahn denselben Kraftbetrag hat.

3118. Nimmt man den axialen Theil des Drahtes fort und schaltet statt seiner den Magnet in den Kreis ein, so ist leicht zu sehen, wie dieser die Rolle des Leiters spielt. Denn angenommen, der Draht selbst setze sich von N bis *b*, Fig. 12, auf einem der drei durch punktirte Linien angedeuteten Wege fort, so ist die Wirkung in allen diesen Fällen sowohl dem Versuche (3093) als auch der Theorie (3100) zufolge dieselbe. Denn welche Gestalt auch die Bahn haben mag, so wird sie bei Einer Umdrehung dieselbe Anzahl von Kraftlinien innerhalb des Magnets schneiden, die durch das Drahtstück an der Aussenseite des Magnets in entgegengesetztem Sinne geschnitten werden; und wenn der Magnet an Stelle des inneren Drahtes zur Schliessung des Kreises dient, so hat seine Substanz genau denselben Erfolg; denn Richtung und jeder andere Umstand, der das Resultat beeinflusst, ist sich gleich geblieben, es ist lediglich ein Leiter durch einen anderen ersetzt worden. Man könnte meinen, dass die grosse Masse des Magnets irgend etwas mehr leiste als der dünne Draht, allein man wird später (3137) den Grund einsehen, weshalb die Wirkung lediglich gleich der des letzteren ist. Und wie der axiale Draht bei der Rotation keine andere Function hat als die der Leitung (3095), da die ganze Wirkung von dem einen Radius zwischen der Axe und dem Aequator bildenden Theil herrührt (3098), so ist auch der bei der Rotation einen Cylinder beschreibende Magnet hinsichtlich seiner Masse gleich dem rotirenden Draht; mit Ausnahme desjenigen Theils, welcher einen Punkt am Pol oder an der Axe mit dem am Aequator verbindet, wo die Communication mit dem Draht hergestellt wird. Wie ich schon vor langer Zeit gezeigt habe (220), entsteht kein Strom, wenn die Galvanometerdrähte *a c* mit den Endpunkten der Axe eines in Rotation gesetzten cylindrischen Magnets verbunden werden, aber wohl wenn *a* mit dem einen Ende, gleichviel mit welchem, und *c* mit dem Aequator oder einem anderen Punkte der

Fig. 12.



Oberfläche des Magnets verbunden wird; die Richtung des Stromes ist stets von der Drehungsrichtung abhängig.

3119. Um weitere Beweise hierfür zu erbringen, wurden die Magnete in der Aequatorialebene durchschnitten, und an die Schnittstelle entweder eine Kupferscheibe oder ein bloss radialer Draht oder die Magnete wieder aneinander gebracht. Welche von diesen drei Anordnungen man nun auch anwandte, um den Kreis von dem axialen (3095) nach einem festen Drahte an der Oberfläche des Aequators zu schliessen, der Strom war stets der Richtung und der Stärke nach derselbe. Wenn der oben erwähnte cylindrische Magnet (3118) in Scheiben von Silber oder Kupfer endigte, an deren Oberfläche die Drähte angelegt waren, so entstanden, da sie mit dem Magnet rotirten, Ströme von derselben Richtung wie bei Verbindung der Drähte mit dem Magnet selbst (218, 219).

3120. Diese überraschende Vertheilung der Kräfte eines Magnets, wie sie durch den bewegten Draht dargethan wird, lässt ihn ganz einer elektromagnetischen Spirale gleich erscheinen, sowohl hinsichtlich der Richtung der Kraftlinien in geschlossenen Kreisen, als auch darin, dass ihre Anzahl innerhalb und ausserhalb gleich ist. Ohne Zweifel ist der Magnet von mehr heterogener Beschaffenheit, da er, wie wir wohl wissen, aus Theilen zusammengesetzt ist, deren magnetische Stärke graduell verschieden ist, und zwar so bedeutend, dass manche innere Theile häufig wie Anker oder Submagnete gegenüber weiter von der Mitte entfernten Theilen zu wirken und so zeitweise geschlossene Kreise oder etwas dem Entsprechendes im Innern zu bilden scheinen. Allein diese bilden keinen Theil der äusseren resultirenden Kraft, und es ist doch nur diese, die wir zu erkennen vermögen, sei es durch ihre Wirkung auf eine Nadel oder andere Magnete oder auf weiches Eisen oder den bewegten Draht. So ist auch die Kraft *im Innern*, welche sich durch ihre Wirkung auf die bewegte Masse offenbart, lediglich dieselbe Resultante; sie ist ihr an Grösse gleich und hinsichtlich der Polarität und anderer Eigenschaften identisch mit ihr. Ohne Zweifel giebt es Fälle, wo, wie bei Annäherung eines Ankers oder anderer Magnete an die Pole in günstigen oder ungünstigen Lagen die äussere Kraft verstärkt ist, oder wo ein Theil scheinbar nach innen gelenkt wird und so die äussere Kraft geschwächt ist. In solchen Fällen entspricht jedoch die übrig bleibende äussere Resultirende genau der inneren; denn wenn man einen kräftigen Hufeisenmagnet mit seinem gleichnamigen oder entgegengesetzten Pol in einer Entfernung bis zu $1^1/_2$ Zoll dem Pol der Stabmagnete, die mit den an ihnen befestigten Drähten (3092), wie oben beschrieben, rotiren können, gegenüberstellt, so lässt sich doch bei der Rotation nicht die leiseste Wirkung am Galvanometer wahrnehmen, da eben die Kräfte innerhalb und ausserhalb des Magnets sich vollständig aufheben.

3121. Die Bestimmtheit der Kräfte eines unveränderlichen Magnets, in welchem Abstande von demselben sie auch immer beobachtet werden

mögen, ist bereits hervorgehoben worden (3109). Wie viel überraschender ist es nun, dieselbe Bestimmtheit auch im Innern des Magnets zu finden; zu erkennen, dass jeder Querschnitt innerhalb wie ausserhalb des Magnets denselben Kraftbetrag hat! Daher lässt sich die Stärke eines Magnets bequem durch die Wirkung *irgend eines* Querschnitts seiner Kraftlinien darstellen, und da die durch zwei verschiedene Magnete inducirten Ströme leicht durch einen und denselben Draht fortgeleitet oder auf andere Weise mit einander verglichen werden können, so lässt sich auf solche Weise leicht ein Normalmaass für Magnete festsetzen.

3122. Andererseits macht die Idee der *Kraftlinien*, welche ich zur Darstellung der wahren magnetischen Kräfte empfehle, es wünschenswerth, womöglich auf experimentellem Wege eine Einheit für solche Kräfte zu finden, ebenso wie es wünschenswerth ist, eine Einheit für Licht- und Wärmestrahlen zu finden. Es erscheint mir nicht unwahrscheinlich, dass künftige Untersuchungen die Mittel zur Aufstellung eines derartigen Normalmaasses liefern werden. Inzwischen mag man, um den Nutzen jener Vorstellung hinsichtlich der magnetischen Kräfte zu erweitern und um das Verhalten derselben graphisch darzustellen, in jedem gegebenen Falle Linien als Ausdruck dieser Einheiten benutzen. In diesem Sinne habe ich mich ihrer in früheren Reihen dieser *Untersuchungen* (2807, 2821, 2831, 2874 etc.) bedient, wo ich zugleich die Richtung der *Kraftlinien* und den relativen Betrag der Kraft oder der Kraftlinien in einem gegebenen Raume durch ihre Zusammendrängung oder Trennung, d. h. durch ihre Anzahl in dem Raume darstelle. Eine derartige Anwendung der Linien als Einheit enthält, glaube ich, keinen Irrthum, weder was den an irgend einer Stelle eines solchen Diagramms angedeuteten Sinn der Polarität, noch was den Kraftbetrag betrifft.

3123. Die Ströme, welche in Drähten, die magnetische Kraftlinien kreuzen, entstehen, sind (zwar, wie viele Resultate zeigen, von beträchtlicher Quantität, aber) von so geringer Intensität, dass ein dünner Galvanometerdraht ihrem Durchgang nothwendig einen grossen Widerstand entgegensetzen muss. Ehe ich daher meine experimentellen Untersuchungen fortsetzte, construirte ich mir ein anderes Galvanometer, zu welchem ich die zu dem Ruhmkorff'schen gehörigen Nadeln benutzte, aber die Spirale durch eine einzige Windung eines sehr starken Drahtes ersetzte. Derselbe war aus Kupfer und hatte einen Durchmesser von 0,2 Zoll. Er ging horizontal unter der unteren Nadel fort, dann so nahe als möglich zwischen ihr und der oberen, über die obere hinweg, dann wiederum zwischen ihr und der unteren Nadel, Fig. 13, ward dann an dem Rahmen befestigt und setzte sich ausserhalb der Glasglocke **19** bis 20 Fuss fort. Dieser Draht leitete

vollkommen und gab, wiewohl er nur einmal um jede Nadel herumging, eine vielmal grössere Ablenkung als der zu dem früheren Galvanometer gehörige. Wenn man beispielsweise den durch Zusammenlöthen seiner Enden zu einem Kreise geformten neunzehn Fuss langen Draht einmal zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets hindurch führte, so bewirkte er eine Ablenkung oder vielmehr eine Schwingung der Nadel um mehr als 90^0. Ich hatte mir noch ein vollkommeneres Instrument dieser Art constru irt, dessen Spirale aus einem aus Kupferplatten herausgeschnittenen rechteckigen Band von 0,2 Zoll Dicke bestand, das zweimal um die Schwingungsebene jeder Nadel herumging, wie Fig. 14 zeigt. Die Länge des Metallbandes um die Nadeln betrug 24 Zoll, und das Galvanometer war sehr empfindlich, aber zu den zu beschreibenden Versuchen diente vorzugsweise das vorige Instrument.

Fig. 13.

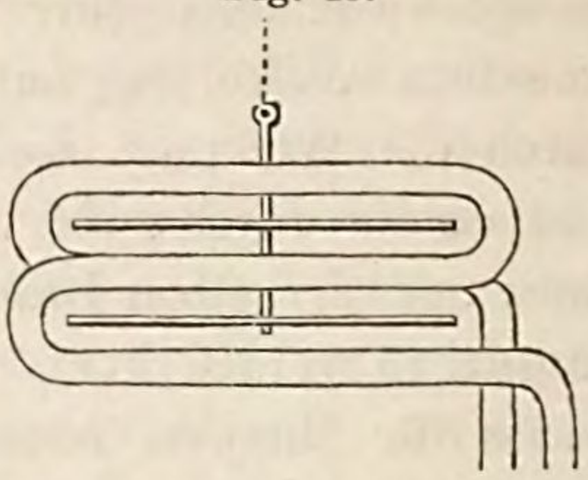
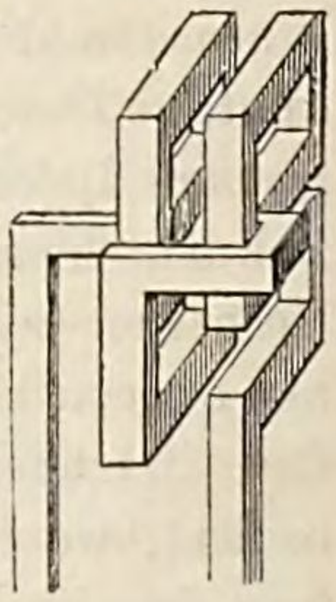
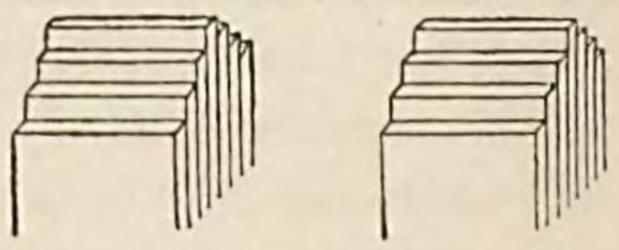


Fig. 14.



3124. Zunächst war es nothwendig, den Einfluss gewisser Umstände auf die Angaben dieses einfachen Galvanometers zu ermitteln. Der benutzte Magnet war ein hufeisenförmiges Magazin von 16 Pfund Gewicht und vermochte mittelst des Ankers 40 Pfund zu tragen. Es sind einige Jahre her, dass er magnetisirt worden ist, und es ist daher wahrscheinlich, dass seine Stärke nahezu constant ist. Die Pole haben die in Fig. 15 abgebildete Gestalt. Ihr Abstand von einander beträgt 1,375 Zoll, und die Höhe, die Entfernung von der Spitze bis zum Scheitel oder dem Aequator des Magnets, 8,5 Zoll. Das Galvanometer war in der Verlängerung der magnetischen Axe oder der die Pole verbindenden Linie aufgestellt, und auf seine Schwingungsdauer übte es kaum einen Einfluss, ob es 6 oder nur 3 Fuss entfernt stand, es war nahezu astatisch und brauchte ungefähr zehn Secunden zu einer Schwingung nach rechts oder links.

Fig. 15.



3125. Führte man den Draht, wie eben beschrieben (3123), quer durch das magnetische Feld mit verschiedener Geschwindigkeit hindurch, so waren die Wirkungen auf das Galvanometer, aus den früher angegebenen Gründen (3104, 3106), dem Grade nach verschieden. Die grösste Geschwindigkeit gab auch die stärkste Wirkung, die zuweilen 140^0 betrug, während der Ausschlag bei sehr langsamer Bewegung nur 30^0 bis 40^0 betrug. Bei mässiger Geschwindigkeit waren jedoch die Ausschläge nahezu gleich, und das mittlere Resultat aus mehreren Beobachtungen bei derselben Geschwindigkeit war ein sehr gleichförmiges.

3126. Schnitt man den Draht quer durch und brachte die Enden auf

verschiedene Weise an einander, so zeigte sich, dass auf die Herstellung des Contactes in diesem oder ähnlichen Fällen grosse Sorgfalt verwandt werden musste. So genügte es nicht, die Enden sanft gegen einander zu drücken, sondern sie mussten gut und frisch gereinigt sein und dicht an einander gepresst werden. Noch besser war es, die Verbindungen durch Löthung oder Einstellen in Quecksilbernäpfchen mit Sorgfalt zu bewerkstelligen, und davon machte man am Galvanometer und sonst soviel als möglich Gebrauch.

3127. Um im Allgemeinen den Widerstand, der durch Einschaltung dünner Drähte hervorgerufen wurde, zu ermitteln, wurde ein Kupferdraht von 28 Zoll Länge und 0,045 Zoll Durchmesser an einer vom Magnet entfernten Stelle in den Kreis eingeschaltet und untadelhaft verbunden. Die Schwingung oder der Ausschlag, der vorher 140^0 und darüber betragen hatte, war nun auf 40^0 reducirt. Ersetzte man den Draht durch einen anderen, gleichfalls von Kupfer, aber nur von 19,5 Zoll Länge und 0,0135 Zoll Durchmesser, so war die Ablenkung auf 7^0 bis 8^0 vermindert.

3128. Behufs eines rohen Vergleichs der Stärke dieses Magnets und der früheren Stabmagnete (3085) mittelst des in Rede stehenden Galvanometers wurde der dicke Draht zu einer Schleife gebogen (3086) und die beiden mit ihren gleichnamigen Enden aneinander liegenden Stabmagnete bis zu ihrem Aequator rasch durch dieselbe hindurchgesteckt; hierbei wurden fast sämmtliche Kraftlinien der Stabmagnete geschnitten, und die Ablenkung des Galvanometers betrug ungefähr 30^0. Eine ähnliche Bewegung der Magnete ausserhalb, aber dicht bei der Drahtschleife brachte keine Wirkung am Galvanometer hervor.

3129. Um die Aenderung der Kraftlinien, sei es hinsichtlich ihrer Lage, sei es hinsichtlich ihrer Gesammtzahl, durch beträchtlich grössere Annäherung der Pole des Hufeisenmagnets (3124) an einander zu ermitteln, wurden folgende Versuche angestellt. Durch Einführung eines Würfels weichen Eisens von 0,8 Zoll Seite in den 1,375 Zoll betragenden Zwischenraum zwischen den Polen wurde derselbe auf 0,575 und somit in Wirklichkeit ihr Abstand bedeutend vermindert; die äussere magnetische Kraft wurde demnach, wie später experimentell gezeigt wurde (3130), dort concentrirt. Wenn der Würfel an seiner Stelle war, so wurde der dicke Draht von 0,2 Zoll Durchmesser quer zu der magnetischen Axe oder dem Orte stärkster Wirkung festgelegt, und hierauf der Einfluss des Eisenwürfels beobachtet, indem er abwechselnd fortgenommen und wieder an seine Stelle gebracht wurde. Es traten hierbei schwache elektrische Ströme auf, die stets dieselbe Richtung hatten, gleichviel ob der Würfel von unten oder von oben oder von der Seite an seinen Ort gebracht wurde; bei Fortnahme desselben hatte der Strom die entgegengesetzte Richtung. Wurde der Würfel in einem Zuge zu der magnetischen Axe hin, an ihr vorbei und von ihr fort geführt, so zeigte sich am Galvanometer keine Wirkung. Wenn

andererseits der Draht in der (3123) beschriebenen Weise quer durch das Magnetfeld geführt wurde, so dass er bei einer einzigen Bewegung sämmtliche Kraftlinien schnitt und ihre Wirkung auf das Galvanometer sammelte, so machte es keinen Unterschied im Resultat, ob der Eisenwürfel an seinem Platze war oder nicht. Dies beweist, dass, soweit die Angaben dieses Apparates reichen, die Gesammtintensität in dem Querschnitt der Kraftlinien ausserhalb des Magnets unter beiden Umständen dieselbe war, wiewohl die Vertheilung derselben eine andere war.

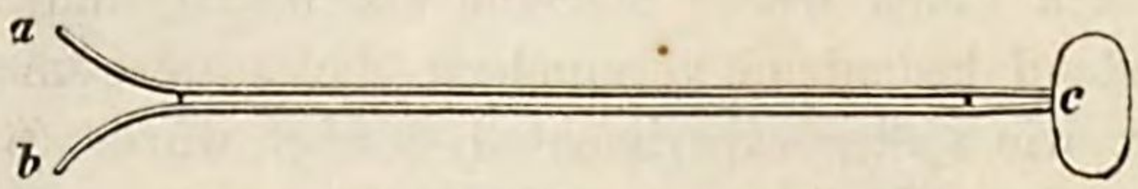
3130. Eben der Einfluss auf die den festliegenden Draht afficirenden Kräfte, je nachdem der Würfel an seinem Platze war oder nicht (3129), ist ein Beweis der Verschiedenheit der Vertheilung in diesen verschiedenen Fällen.

3131. Ein Wismuthstück an Stelle des Eisenwürfels hatte keine merkliche Wirkung auf den Draht, dieser mochte in Ruhe oder in Bewegung sein.

3132. Das in Rede stehende Galvanometer wurde zunächst zu einer Wiederholung aller der früheren Versuche mit den Stabmagneten (3091 etc.) benutzt. Die Resultate waren völlig dieselben, ausser dass die Ablenkung, wenn eine solche auftrat, grösser war als in den früheren Fällen.

3133. Um verschiedene Dicken eines und desselben Metalles mit einander zu vergleichen, bog ich Kupferdrähte von 10,5 Zoll Länge und verschiedenem Durchmesser in Schleifen von solcher Gestalt und Grösse, dass sie bequem über einen Pol des Hufeisenmagnets geschoben werden konnten, und löthete sie an die Enden zweier leitender Stäbe aus Kupferdraht von je 35 Zoll Länge und 0,2 Zoll Durchmesser, die an den gegenüberliegenden Seiten eines schmalen Holzstreifens befestigt waren. Die ganze Anordnung zeigt Fig. 16. Die Enden ab tauchen in die Quecksilbernäpfchen des Gal-

Fig. 16.



vanometers; bei c sind die Drähte so dicht an einander gebracht, dass nur ein Kartenblatt dazwischen geschoben werden kann, und demnach haben die Strecken von c bis ab keine andere Function als die der Leitung, während die Schleife, die über einen der Magnetpole geschoben werden kann, nahezu sämmtliche magnetische Curven und stets in demselben Verhältniss schneidet.

3134. Der frühere Magnet war zu stark, um zu vergleichenden Versuchen zu dienen; daher wurde ein kleinerer benutzt, der aus fünf Blättern von 8 Pfund Gewicht bestand und gut 21 Pfund mittelst des Ankers zu

tragen vermochte. Der Abstand der Pole betrug 1,2 Zoll, ihre Dicke in Richtung der magnetischen Axe einen Zoll. Wollte man eine schwächere magnetische Kraft haben, so konnte dies leicht dadurch erreicht werden, dass man den Anker zur Seite an beide Schenkel anlegte, und, je nachdem man eine schwächere oder stärkere Kraft brauchte, die magnetische Verbindung entweder näher den Polen oder näher dem Aequator oder Bug herstellte. Das Hinabreichen der Schleife zwischen den Polen regulirt man am besten so, dass man die Leitungsdrähte gegen einen Hemmklotz stossen lässt.

3135. Der Erfolg einer raschen und langsamen Bewegung wurde dem früheren (3104, 3105) gleich gefunden. Geschwindigkeiten, wie sie mit der Hand ertheilt werden konnten, waren sehr wirkungsvoll und lieferten, wenn die Bewegung rasch ausgeführt wurde, sehr gleichförmige Resultate.

3136. Drei Schleifen von Kupferdraht, deren Durchmesser respective 0,2, 0,1 und 0,05 Zoll betrug oder sich wie 4:2:1, und deren Querschnitt oder Masse sich also wie 16:4:1 verhielt, wurden mit einander verglichen. Mit jeder Schleife wurden zehn bis zwölf Beobachtungen gemacht; die Resultate stimmten nahezu überein, und das Mittel aus den Ablenkungen nach einer Seite von der Nulllage aus war für jede einzelne Schleife folgendes:

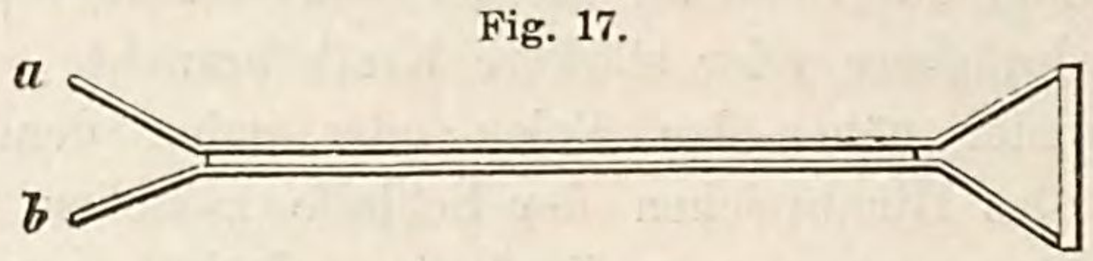
Kupferdraht von $^1/_{20}$ Zoll Dicke . . .	$16{,}00^0$
Kupferdraht von $^1/_{10}$ Zoll Dicke . . .	44,40
Kupferdraht von $^1/_5$ Zoll Dicke . . .	57,37.

Obschon nun die dickeren Drähte den stärkeren Effect gaben, so standen doch die Resultate offenbar keineswegs im Verhältniss zur Masse der Drähte; vielmehr zeigen die dünneren in dieser Beziehung eine Ueberlegenheit. Wenn andererseits vier der dünneren Drähte neben einander geschaltet wurden, so dass sie eine einzige Schleife von der Masse der zweiten bildeten, so gaben sie dasselbe Resultat wie diese, waren derselben also gleichwerthig.

3137. Die unverhältnissmässige *Verschiedenheit* dieser drei Drähte ist offenbar eine Folge der relativen Verschiedenheit des lediglich leitenden Theiles des Kreises. Um die Wirkung der Kraftlinien auf Drähte von verschiedenem Durchmesser, die quer durch sie bewegt werden, genau mit einander vergleichen zu können, muss der gesammte Draht mit Einschluss des Galvanometerdrahtes (205) denselben Durchmesser haben, da sonst der Strom in dem dünnen Draht in seinem lediglich leitenden Theile einen Zuwachs erhält, den der Strom in dem dicken Draht nicht hat. Dies ist der Grund, weshalb mit einem dünnen Galvanometerdraht, wie der früher beschriebene (3086), dieselben Resultate bei dicken wie bei dünnen Drahtschleifen, oder bei Bündeln von wenigen wie von vielen Drähten erhalten werden. Um die Vergleichung weiter auszudehnen, löthete ich an zwei Leiterpaare von den angegebenen Dimensionen (3133) zwei je 5,5 Zoll lange Kupfercylinder, von denen der

eine jedoch nur eine Dicke von 0,2 Zoll, der andere eine Dicke von 0,7 Zoll, oder eine zwölfmal grössere Masse hatte als ersterer, Fig. 17. Sie wurden nacheinander zwischen den Magnetpolen hindurchgeführt und gaben nahezu gleiche

Fig. 17.



Resultate. Wenn irgend ein Unterschied vorhanden war, so war die Wirkung mit dem dünneren Cylinder die grössere, und dies kann sehr wohl der Fall sein; denn da die Intensität des magnetischen Feldes nicht gleichförmig, sondern am stärksten in der magnetischen Axe war, so ist klar, dass, während ein Theil des dickeren Cylinders bei seinem Durchgang sich in der Axe befand, andere Theile an Orten schwächerer Intensität und Wirkung waren, und so kann in ihnen ein Rückstrom existirt haben, der in einem Cylinder von wenig mehr als einem Viertel des Durchmessers des ersteren nicht dieselbe Ausbreitung haben konnte, zumal dieser einen seinem eigenen Durchmesser gleichen Ableitungscanal für die Ströme durch die Leitungsdrähte hatte. Ein ähnlicher Einfluss der Masse zeigt sich in dem Falle, wo der Magnet selbst rotirt, ohne eine stärkere Wirkung zu haben als ein kurzer radialer Draht an ihm (3118).

3138. Den Einfluss dieser seitlichen Leitung (3137) in Fällen magneto-elektrischer Leitung muss man wohl kennen, da sich sonst bei Anwendung der Principien leicht Irrthümer in die Untersuchung einschleichen. Der Einfluss derselben lässt sich aus folgenden Beispielen ersehen. Eine Schleife von vier 0,048 Zoll dicken Drähten (3136) über den Pol des Magnets geschoben, brachte eine gewisse Ablenkung oder Schwingung hervor; sonderte man die Drähte zu zwei und zwei, so dass sie einen halben oder dreiviertel Zoll von einander abstanden und demnach beim Durchschreiten des magnetischen Feldes das eine Paar dem anderen voranging, so war die Wirkung aus dem bei dem Kupfercylinder bereits angegebenen Grunde (3137) geringer. Liess man drei Drähte zusammen den Weg zurücklegen, während der vierte einige Zoll entfernt blieb, so sank die Wirkung sehr beträchtlich herab, und wenn dieser vierte Draht durchschnitten wurde, um das Auftreten des Rückstromes in ihm zu verhindern, so stieg die am Galvanometer sich zeigende Wirkung der drei Drähte sehr beträchtlich an und kam fast der der vier zusammengehaltenen Drähte gleich.

3139. Ich beobachtete ferner, welchen Erfolg es hatte, wenn aus einer aus sechsundsiebzig gleichen dünnen Kupferdrähten von je 10,5 Zoll Länge und 0,0125 Zoll Durchmesser bestehenden Schleife mehr und mehr Drähte herausgeschnitten wurden. Da die Vergleichung der kleineren Anzahl von Drähten am werthvollsten ist, will ich das Mittel aus mehreren Beobachtungen für jede Anzahl in umgekehrter Ordnung, als sie erhalten wurden, mittheilen und ich füge

die Resultate mit einer grösseren Anzahl von Drähten nur zu dem allgemeinen Zweck ein, um zu zeigen, wie der Effect in den des Kupfercylinders (3137) übergeht; die Galvanometerdrähte waren hierbei stets von derselben Länge und Dicke.

1	Draht gab einen mittleren Ausschlag von . .	$8{,}3^0$
2	Drähte gaben einen mittleren Ausschlag von .	15,3
3	Drähte gaben einen mittleren Ausschlag von .	21,8
4	Drähte gaben einen mittleren Ausschlag von .	27,9
5	Drähte gaben einen mittleren Ausschlag von .	34,4
6	Drähte gaben einen mittleren Ausschlag von .	37,8
8	Drähte gaben einen mittleren Ausschlag von .	50,1
12	Drähte gaben einen mittleren Ausschlag von .	65,1
16	Drähte gaben einen mittleren Ausschlag von .	80,5
26	Drähte gaben einen mittleren Ausschlag von .	118,0
36	bewirkten, dass die Nadel sich herumdrehte.	
46	wirkten stärker als die letzteren.	
56	bewirkten, dass die Nadel sich ganz herumdrehte.	
66	wirkten etwas stärker.	
76	noch stärker, die Nadel drehte sich frei im Kreise herum.	

Jedesmal, wenn die Nadel einen Bogen von 180^0 überschritt, wurde sie zurückgedreht, um die Torsionskraft für jede Beobachtung gleich zu halten.

3140. Bei Anwendung der Schleife aus vier gleichen Drähten (3136), die so angeordnet waren, dass sie für das Stück, welches zwischen den Polen hindurchging, dicht bei einander in Einer Ebene lagen, machte es keinen Unterschied im Resultat, ob diese Ebene senkrecht oder parallel zur magnetischen Axe war, d. h. ob die Drähte bei der Bewegung einen Streifen bildeten, der sich mit seiner Kante oder mit seiner flachen Seite voraus bewegte. Die Resultate waren dieselben wie mit den vier dicht zusammenliegenden Drähten, wenn sie gewissermassen einen Kreis oder ein Quadrat bildeten.

3141. Aus allen diesen Resultaten kann man den Schluss ziehen, dass der Strom oder die Elektricitätsmenge, welche in dem durch die Kraftlinien sich bewegenden Drahte auftritt, sich nicht einfach wie der Raum verhält, welcher von seiner der Richtung der Kraftlinie, die die *Polarität* der Kraft bestimmt, entsprechenden Breite eingenommen wird; auch nicht wie die Weite oder Abmessung desselben, welche die Anzahl oder die *Menge* der Kraftlinien einschliesst, und die, der Bewegungsrichtung entsprechend, in Beziehung steht zu dem *äquatorialen* Zustand der Linien, sondern im zusammengesetzten Verhältniss beider steht, oder sich wie die Masse des bewegten Drahtes verhält. Die Kraft wirkt ebensowohl auf die inneren Theile des Drahtes, wie auf die äusseren oder Oberflächentheile, und ein centrales, auf

allen Seiten von Kupfer umgebenesTheilchen steht in derselben Beziehung zu der Kraft, wie ein Oberflächentheilchen, das mit der einen Seite an die Luft grenzt.

3142. Ich stellte ferner vergleichende Versuche mit derselben Kupferdrahtschleife (3145) an, wobei die Magnetpole von verschiedenen Medien umgeben waren, von Luft, Wasser, Alkohol, Terpentinöl, und fand, dass der Betrag des Inductionsstromes in allen diesen Fällen derselbe war. Auf einen Versuch in einer Flüssigkeit folgte eine Wiederholung desselben in Luft, und so erhielt man das sehr übereinstimmende und sichere Resultat, dass die Wirkung in allen diesen Fällen die gleiche war.

3143. Der nächste Punkt, dessen Untersuchung mir wichtig erschien, war der Einfluss, den eine *Abänderung der Substanz* haben würde, weil sie eine directe Beziehung hat zu der Kraft, welche sich äussert oder bereit ist, sich zu äussern, im Innern fester Körper, bei beliebiger Entfernung von dem Magnet und in Lagen und unter Umständen, wo es unmöglich ist, sich der Schwingungen einer Magnetnadel oder einer anderen Wirkungsform anziehender und abstossender Kräfte zu bedienen. Das Innere solcher Körper, wie Eisen, Kupfer, Wismuth, Quecksilber u. s. w., also der am stärksten paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen, schienen sich mir zu einer derartigen experimentellen Untersuchung zu empfehlen, sowohl wegen der Anzahl der sie unter verschiedenen Umständen durchsetzenden Kraftlinien, als auch wegen der Richtung derselben oder ihrer Polarität.

3144. Versuche hierüber sind bereits in einer früheren Reihe dieser *Untersuchungen*[1]) beschrieben worden (205—213). Es wurden Drähte aus verschiedenen Metallen quer zu den Kraftlinien eines Magnets bewegt und es ergab sich, dass die in diesen verschiedenen Körpern inducirten Ströme ihrer elektrischen Leitungsfähigkeit proportional waren (202, 213).

3145. Der dicke Galvanometerdraht (3123) mit seinen guten und kurzen leitenden Verbindungen versprach jedoch bessere Resultate, und ich richtete mir daher Drahtschleifen, gleich den oben erwähnten Kupferdrähten (3133), aus verschiedenen Metallen her, aus Kupfer, Silber, Eisen, Zinn, Blei, Platin, Zink, deren Durchmesser 0,04 Zoll, also nur $^1/_{25}$ desjenigen des Verbindungs- und Galvanometerdrahtes betrug. So liess sich die für die Erregung des Stromes in Betracht kommende Substanz variiren, während der bloss leitende Theil des Systems sehr gut war und derselbe blieb. Als Mittel aus sechs bis zehn Versuchen mit diesen Drahtschleifen ergab sich folgendes:

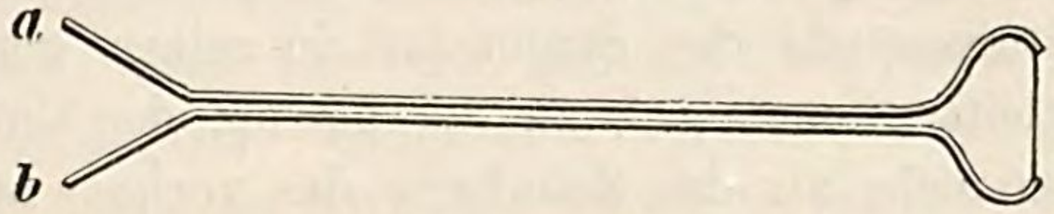
Kupfer . . .	63,0	Eisen	18,0
Silber . . .	61,9	Platin	16,9
Zink	31,5	Blei	12,1.
Zinn	19,1		

---

[1]) Philosophical Transactions, 1832, p. 179—182.

3146. Um das Hinderniss einer schlechten Leitungsfähigkeit soviel als möglich zu beseitigen und um zu ermitteln, ob etwa ein Unterschied zwischen paramagnetischen und diamagnetischen Metallen existire, wurden die drei Metalle Zinn, Eisen und Blei in Form von Drähten gewählt, deren Durchmesser wie vorher 0,04 Zoll, deren Länge aber anstatt 10,5 Zoll nur 3 Zoll betrug, während der übrige Theil der Schleife aus dem Kupferdraht von 0,2 Zoll Durchmesser bestand, wie Fig. 18 zeigt. Natürlich ist die Wirkung der gesammten

Fig. 18.



Schleife zusammengesetzter Art, indem sie theils von der Kraft herrührt, welche durch die von dem dicken Drahtstück geschnittenen Linien, theils von der, welche durch die Linien dargestellt wird, die von dem nur drei Zoll langen, zwischen den Polen hindurchgehenden Draht geschnitten werden. Da jedoch der grösste Betrag der Kraft innerhalb eines Raumes von nicht mehr als $1^1/_2$ bis 2 Zoll Länge concentrirt ist (wie man erkennt, wenn man eine der Drahtschleifen quer zur magnetischen Axe bewegt), und da man selbst diesen durch Anwendung des Eisenwürfels (3129), wodurch man die Pole einander näher bringt, noch verkleinern konnte, so durfte man hoffen, dass die Hauptwirkung hier stattfinden und so ein etwaiger Unterschied zwischen Eisen einerseits und Zinn und Blei andererseits sich erkennen lassen würde, zumal da der Leitungswiderstand durch Verkürzung der Drähte von 10,5 auf 3 Zoll beträchtlich vermindert war.

3147. Die zahlreichen Versuche stimmten für jedes Metall unter sich sehr genau überein. Das Mittel aus den Versuchen mit den drei genannten Metallen war folgendes:

Zinn . . .	$37{,}1^0$
Eisen . . .	34,8
Blei . . .	25,4.

Das Verhältniss dieser Zahlen und somit das Resultat ist fast identisch mit dem obigen (3145).

3148. Bei den in früheren Versuchen angestellten Vergleichen zwischen Blei und Kupfer in der Anordnung mit den Stabmagneten (3084, 3085) vermittelst des dünnen Galvanometerdrahtes war das Resultat für beide *dasselbe.* Aber dort waren die Drähte kurz und weit dicker als die Galvanometer- oder Leitungsdrähte und daher war ihre Wirkung wegen der Masse — ein Umstand, der eben dargelegt wurde (3137), — beschränkt. Um zu zeigen, dass dies der Fall war, wandte ich nun neben dem dicken Galvanometerdraht zwei gleiche, 0,2 Zoll dicke Drahtschleifen von Kupfer und

Eisen, Fig. 16 (3133), an und schob sie gleichmässig über den Pol des durch den Anker (3134) geschwächten kleinen Hufeisenmagnets. Die Resulsate waren sehr übereinstimmend und das Mittel daraus war für

Kupfer	41,7,
Eisen	33,7.

3149. Hier erreicht also der Unterschied zwischen Kupfer und Eisen noch nicht das Verhältniss von 1 zu 1,24, während es in dem Falle, dass die bei der Stromerregung nicht in Betracht kommenden Leiter sehr gut waren und verhältnissmässig den Strom fast in seiner ganzen Stärke zum Galvanometer fortleiten konnten, 1 zu 3,5 betrug, der Unterschied in dem letzteren Falle also mehr als das Zehnfache des vorigen ausmachte.

3150. Um die von der Masse abhängige Wirkung im Verhältniss zu der auf den Leitungsdrähten beruhenden in noch stärkerem Maasse hervortreten zu lassen, hatte ich an die Enden von Leitungsdrähten einen Eisencylinder von 5,5 Zoll Länge und 0,7 Zoll Durchmesser gelöthet, der also in jeder Hinsicht dem früher beschriebenen Kupfercylinder (3137) glich. In diesem Falle erreichte die Wirkung des Eisens die des Kupfers nicht nur, sondern übertraf dieselbe; ich erhielt für Kupfer 35^0,66 und für Eisen 38^0,32. Bei diesen Massenverhältnissen verschwindet also der Unterschied zwischen Eisen und Kupfer. Die scheinbare Inferiorität des Kupfers rührt wahrscheinlich von der seitlichen Entladung her, welche oben die Wirkung eines Cylinders schwächer erscheinen liess als die eines dicken Drahtes (3137). Da das Eisen selbst ein schlechter Leiter ist und seine Fortsetzung in dem Kreise von ebenso guten Leitern gebildet wird, als wenn es in Drahtform angewandt wurde, so muss, glaube ich, eine verhältnissmässig geringere seitliche Entladung in ihm stattfinden als im Kupfer.

3151. Um weiter den Einfluss sowohl der Natur der Substanz als auch den der Masse zu vergleichen, befestigte ich einen ähnlichen Wismuthcylinder an den Leiter. Die Wirkung entsprach bei Anwendung desselben Magnets und derselben Kraft 23^0; dieselbe ist sehr gross im Vergleich zu der des Kupfers und ist ohne Zweifel durch die Masse bedingt. Hätte man einen Wismuthdraht von nur 0,04 Durchmesser (3145) zur Vergleichung benutzen können, so würde man ihn wahrscheinlich nahezu indifferent gefunden haben (3127).[1])

3152. Der in verschiedenen Substanzen, wenn sie sich durch magne-

---

[1]) Wenn man Wismuth durch Löthung in den Kreis einschaltet, so muss man lange warten, ehe man die Versuche damit beginnen kann, muss es dann einhüllen und sehr vorsichtig mit der Drahtschleife umgehen, da sonst Thermoströme entstehen. Eine bis zwei Stunden lang nach dem Anlöthen treten elektrische Ströme auf, die sich am Galvanometer sehr unregelmässig zeigen; wahrscheinlich beruhen sie auf inneren molecularen Aenderungen, die von Zeit zu Zeit auftreten, bis das Ganze einen dauernden Gleichgewichtszustand angenommen hat.

tische Kraftlinien bewegen, erregte elektrische Strom scheint also im directen Verhältniss zur Leitungsfähigkeit der Substanz zu stehen. Er scheint dagegen keine directe Beziehung zu dem magnetischen Verhalten der Substanz zu haben, denn Eisen steht zwischen Zinn und Platin und weist keinen anderen Unterschied auf, als durch die Leitungsfähigkeit bedingt ist, ja es unterscheidet sich weit weniger von ihnen als sie sich von anderen, nichtmagnetischen Metallen unterscheiden.

3153. Der Betrag der *Kraftlinien* (und der durch sie dargestellten Kraft) scheint also unter diesen Umständen für Zinn, Eisen und Platin, wenn dieselben gleiche Räume einnehmen oder durchschneiden, gleich zu sein; denn der Unterschied im Resultat entspricht nicht dem Unterschied im magnetischen Verhalten, sondern bloss dem der Leitungsfähigkeit. Dies steht im Einklang mit dem Ergebniss, zu dem ich früher gelangt bin, dass die Anzahl der Kraftlinien in Luft, Wasser, Wismuth, Sauerstoff, Stickstoff und im Vacuum sich gleich bleibt, nur dass sie in der Substanz, welche sie durchkreuzen, mehr oder weniger zusammengedrängt sind (2807), je nachdem sie besser oder schlechter leitet (2797) oder die magnetische Kraft fortpflanzt.

3154. Das Ergebniss, zu welchem ich soeben gelangt bin, führt zu der Frage, was *magnetische Polarität*, und wie sie zu definiren sei. Ich für meine Person verstehe unter diesem Ausdruck die entgegengesetzten und antithetischen Kräfte an den entgegengesetzten Enden oder Seiten einer begrenzten (oder unbegrenzten) Kraftlinie (2835). Wiederum lässt sich die Inclinationslinie des Erdmagnetismus oder ein Theil derselben als ein natürliches Beispiel ansehen, und eine freie Nadel über oder unter derselben oder ein quer zu ihr sich bewegender Draht (3076, 3079) wird die Richtung der Polarität angeben. Dieselbe Bedeutung und Definition wird gelten, wenn wir von einer hiervon ganz verschiedenen und künstlichen Quelle, wie die elektromagnetische Spirale, ausgehen.

3155. Soll der Ausdruck *Polarität* sich an Erfahrungsthatsachen und nicht an blosse Hypothesen, abgesehen von der in der obigen Beschreibung enthaltenen, anlehnen, so sehe ich nicht, dass er jemals klar und bündig gefasst worden ist. Möglicherweise ist es doch der Fall, denn ich wage nicht zu behaupten, dass mir alles, was ich gelesen habe, oder auch nur alle Schlüsse, zu denen ich selbst zu verschiedenen Zeiten gelangt bin, gegenwärtig sind. Wenn er aber keine andere Bedeutung hat oder haben soll, so entsteht die Frage, ob er in jedem Falle durch Anziehung und Abstossung, d. h. durch derartige Wirkungen der Körper auf einander unter Einfluss des Magnetismus richtig dargestellt oder angedeutet wird. Eine schwache Lösung von Eisenvitriol stellt sich, von Wasser umgeben, im magnetischen Felde axial ein; in der Umgebung einer stärkeren Lösung als sie selbst stellt sie sich äquatorial (2357, 2366, 2422). Dasselbe gilt in

noch auffallenderen Fällen. Ja, wir können nicht zweifeln, dass es selbst für Eisen, Nickel und Cobalt gelten würde, wenn wir im Stande wären, diese Körper zu verflüssigen, ohne ihren paramagnetischen Zustand zu ändern, oder wenn wir nach Belieben über stärkere und schwächere Magnete und paramagnetische und diamagnetische Media gebieten könnten. Wir können aber doch bei den Lösungen nicht annehmen, dass die schwächere in der stärkeren eine andere Polarität habe als im Wasser. Die Kraftlinien des magnetischen Feldes haben in allen diesen Fällen dieselbe allgemeine Polarität, was man, wenn auch nicht durch Anziehungen und Abstossungen, doch durch den bewegten Draht (3076) experimentell nachweisen kann.

3156. Hier haben wir also einen *Unterschied* in den beiden Arten der experimentellen Angaben, und zwar nicht bloss in der Methode, sondern auch in der Natur der Resultate und in den bei diesen in Betracht kommenden Principien. Darin liegt, glaube ich, der Werth des bewegten Drahtes als eines Forschungsmittels, denn er führt uns zu Untersuchungen, welche die Natur der magnetischen Kraft selbst berühren. Ohne Zweifel macht die Nadel richtige experimentelle Angaben, aber wir sind nicht in gleichem Maasse sicher, dieselben immer richtig zu deuten. Anzunehmen, dass Pointirung stets die directe Folge anziehender und abstossender, als Paare wirkender Kräfte (wie in den in Rede stehenden Fällen oder bei Wismuthkrystallen) sei, heisst in Bezug auf Magnetismus Vorstellungen ausschliessen, die bereits in den Theorien über die Natur des Lichtes und der Elektricität angewandt werden, und die Ausschliessung solcher Vorstellungen *ist vielleicht* ein Hinderniss für die Förderung der Wahrheit und geeignet, schlechten Annahmen und Irrthümern Vorschub zu leisten.

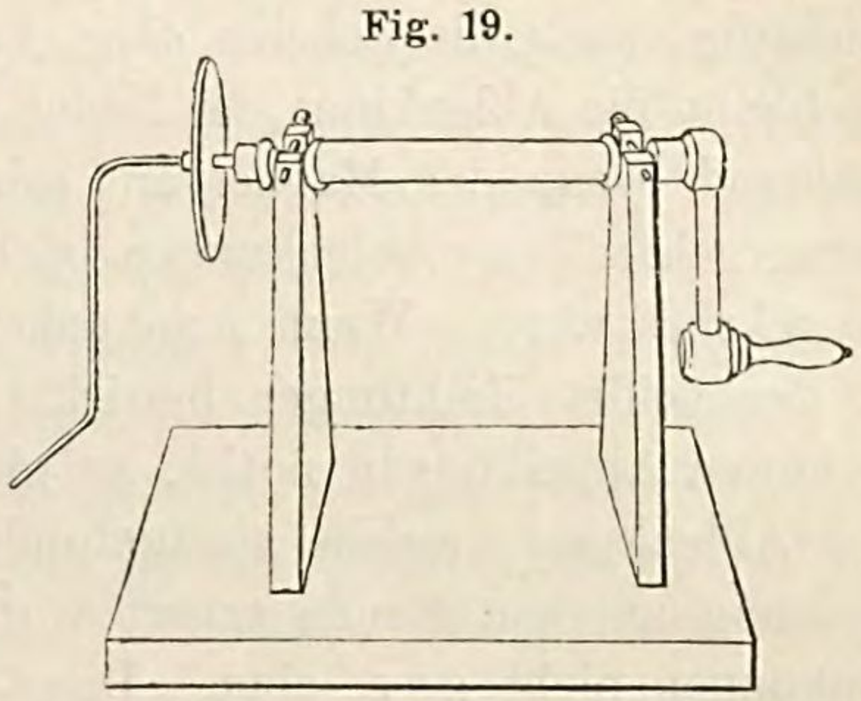
3157. Was bedeutet der Begriff der Polarität in einem Felde von *gleichförmiger Intensität* (es mag nun von Luft oder von einer Masse weichem Eisen erfüllt sein)? Eine Magnetnadel oder ein längliches Stück Eisen würde sie in der Luft oder sonstwo nicht zu erkennen geben, wenn nicht die gleichförmige Vertheilung der Kraft gestört und ungleichförmig gemacht würde; denn hiervon wird die Einstellung der Nadel oder des Eisens oder ihre Bewegungen nach den Begrenzungen des magnetischen Feldes hin, wenn es ein begrenztes ist (2828), abhängen. Ein Wismuthkrystall, der durch seine Lage diese Polarität erkennen lässt (2464, 2839), thut es, ohne die Vertheilung der Kraft erheblich zu ändern; die stattfindende Aenderung hat einen entgegengesetzten Sinn als die von dem Eisen bewirkte (2807), da sie in einer Ausweitung der Kraftlinien besteht. Es ist leicht möglich, dass es einen Magnekrystall giebt, der in seiner stabilen Lage weder Convergenz noch Divergenz der Kraftlinien in seinem Innern bewirkt. Er braucht bloss in Bezug auf den Raum oder ein umgebendes Medium in jener Richtung neutral und in der Querrichtung diamagnetisch zu sein, und die Bedingung wäre erfüllt.

3158. Allein wenn auch eine gewöhnliche Magnetnadel keine Polarität

in einem Felde von gleichförmiger Kraft zu erkennen zu geben vermag[1]), da sie keine Beziehung zu demselben hat — thatsächlich ist ein solcher Zustand der Dinge unbekannt —, so wird sie doch durch einen bewegten Draht augenblicklich offenbar, der auch den ganzen Betrag der magnetischen Kraft, welcher die Polarität angehört, erkennen lässt, und es geschieht überdies, ohne die Vertheilung der Kraft zu stören, soweit wir im Hinblick auf Magnetnadeln Vertheilung begreifen und erkennen. Wenigstens scheint sich mir dies aus einer Betrachtung der Wirkung dünner und dicker Drähte (3141) und Drähte von verschiedener Substanz (3153) im Augenblick zu ergeben.

3159. Als Experimentator fühle ich mich gebunden, mich in jeder Gedankenreihe und zu deren Rechtfertigung von dem Versuch leiten zu lassen, zumal da ich überzeugt bin, dass der Versuch, wie die Analysis, wenn er richtig gedeutet wird, zu strenger Wahrheit führt und seiner Natur nach weit mehr zu neuen Gedankenreihen und neuen Aeusserungen der natürlichen Geisteskräfte anregt. Um die Angaben des bewegten Drahtes zu erweitern und die Form, in welcher seine principielle Anwendung möglich ist, abzuändern, habe ich mir einen Apparat construirt, Fig. 19, bestehend aus einer hölzernen Axe, dessen eines Ende in einer Kupferschraube endigte, die eine oder mehrere an sie aufzuschraubende Metallscheiben aufnehmen und tragen sollte. Dieses Ende ragte so weit über den Ständer hinaus, dass solche Scheiben theilweise zwischen die Pole eines Hufeisenmagnets zu liegen kommen konnten, so dass sie bei ihrer Rotation die Kraftlinien an deren stärkster Wirkungsstelle schnitten und, während der Magnet und der Apparat fest blieben, fortdauernd dieselben Kraftlinien kreuzten. Einer der Galvanometerdrähte war zugespitzt und in die innere Fläche einer schalenförmigen Höhlung an dem Ende der axialen Schraube angelegt; das andere Ende wurde mit der Hand gehalten und so festgelegt, dass er sich auf einen abgerundeten Theil des Randes der Scheibe an dem von den Polen des Magnets entferntesten Punkte stützte.

Fig. 19.



3160. Die zu diesem Apparat gehörigen Scheiben von verschiedener Dicke und verschiedenem Material hatten einen Durchmesser von 2,5 Zoll. Eine auf der Axe befestigte und gegen den grossen Hufeisenmagnet (3159), wie oben beschrieben, eingestellte Scheibe, bewirkte durch drei oder selbst zwei Umdrehungen eine Ablenkung der Nadel des Galvanometers mit dickem

---

[1]) Man kann sich leicht eine Nadel denken, die sich so verhalten würde.

Draht um 30^0. Bei diesem Apparat ist die wirksamste Stelle des Scheibentheiles, welcher in irgend einem Moment die magnetische Axe durchschneidet, diejenige, welche dem Umfange nahe liegt, da sie die grösste Geschwindigkeit hat und folglich einen grösseren Raum durcheilt, und zwar an einer Stelle, wo die Kraftlinien am stärksten zusammengedrängt sind.

3161. Auf guten Contact an dem Ende der Axe muss man stets mit Sorgfalt bedacht sein. Der Druck an dem Rande der Scheibe darf nicht zu gelinde sein, da sonst der Contact bei der Bewegung nicht genügend ist, um beständig dieselbe Strommenge fortzuleiten. Er darf auch nicht an den Kanten des Scheibenrandes angebracht werden; durch eine kratzende oder schneidende Reibung entsteht ein elektrischer Strom. Bei einer sanften steifen Reibung von Kupferdraht gegen die Kupferscheibe findet nur eine sehr geringe Stromerregung statt, eine weit stärkere, wenn der Kupferdraht gegen den Rand einer Eisenscheibe drückt. In beiden Fällen kann jedoch die Wirkung unterdrückt oder aufgehoben werden; denn in welcher Richtung auch die Scheibe *ohne* Vorhandensein des Magnets gedreht wird, so bleibt die Ablenkung der Nadel, wenn überhaupt eine entsteht, dieselbe, während, wenn der Magnet an seiner Stelle ist, der Sinn der hierdurch hervorgebrachten Ablenkungen sich umkehrt, wenn die Drehungsrichtung umgekehrt wird. Wenn man daher eine gleiche Anzahl von Umdrehungen in den beiden Richtungen bewirkt und die ungleichen, entgegengesetzt gerichteten Ablenkungen notirt, so giebt die halbe Summe nahezu die Grösse der Ablenkung, welche stattgefunden hätte, wenn kein Strom durch die Reibung an dem Rande erregt worden wäre, vorausgesetzt dass die Ablenkungen nicht gross sind. Diese Reibungswirkungen geben ohne Zweifel Anlass zu Einwänden gegen das Princip in dieser Form; dennoch sind die Resultate, wie mir scheint, in Bezug auf Kupfer und Eisen werthvoll. Es sind folgende.

3162. Eine Kupferscheibe von 0,05 Zoll Dicke gab bei zwei Umdrehungen im Mittel aus mehreren Versuchen eine Ablenkung von $20^0,8$; eine zweite Kupferscheibe von 0,1 Zoll Dicke eine mittlere Ablenkung von $27^0,8$; eine dritte Kupferscheibe von 0,2 Zoll Dicke eine Ablenkung von $26^0,5$. Hier war also (bei der vorliegenden Art des Contactes) die für den Maximaleffect geeignete Dicke nicht nur erreicht, sondern überschritten worden (3137). Eine *Eisen*scheibe von 0,05 Zoll Dicke, die nun auf die Axe gesetzt wurde, gab im Mittel eine Ablenkung von $15^0,4$; eine andere Eisenscheibe von der vierfachen Dicke (oder 0,2) gab eine Ablenkung von nur 14^0. Demnach ist also auch hier, wie im vorigen Falle, die Dicke für den Maximaleffect überschritten worden.

3163. Nun wurden die 0,2 Zoll dicken Scheiben von Kupfer und Eisen, die für sich die respectiven Ablenkungen $26^0,5$ und 14^0 erzeugt hatten, beide auf der Axe befestigt, vor gegenseitiger unmittelbarer Berührung durch eine dazwischen geschaltete Papierscheibe geschützt; beide

standen jedoch natürlich an dem Bewegungsmittelpunkt mit der Kupferaxe im Contact, durch welche der Kreis elektrisch geschlossen war. Sie wurden so zwischen den Magnetpolen angeordnet, dass die Eisenscheibe sich in der Mitte, die Kupferscheibe also sich einer Seite ein wenig näher befand. Die Kupferscheibe in den Kreis eingeschaltet, gab bei zwei Umdrehungen im Mittel eine Ablenkung von $23^0,4$, und wenn die Eisenscheibe in den Kreis eingeschaltet war, so betrug die durch sie hervorgebrachte Ablenkung $11^0,91$. Hier, wo beide Scheiben in demselben Augenblick der magnetischen Kraft ausgesetzt sind, ist also das Verhältniss nahezu dasselbe, wie wenn sie gesondert dem Versuche unterworfen wurden. Beider Wirkung ist ein wenig gesunken, aber doch nicht derart, dass daraus zu entnehmen wäre, dass sich ein besonderer Einfluss des Eisens geltend gemacht hätte, der eine Aenderung der das magnetische Feld durchziehenden Kraftlinien herbeiführte oder sie sonst afficirte. Der thatsächliche Effect scheint auf einer Mitwirkung der Masse der leitenden Substanz zu beruhen.

3164. Wenn die Richtung des durch die magnetische Kraft in dem bewegten Metall inducirten elektrischen Stromes als der wahre Ausdruck der Polarität angesehen wird — und wie ich glaube, kann nicht geleugnet werden, dass sie den Charakter der Kraft, welcher durch den Ausdruck Polarität bezeichnet werden soll, repräsentirt und mit diesem Charakter unveränderlich verknüpft ist —, so zeigen diese Resultate, dass die Polarität der Kraftlinien innerhalb des Eisens dieselbe ist, wie im Innern des Kupfers, wenn beide in gleicher Weise der magnetischen Kraft ausgesetzt sind. Im Verein mit den früheren und den neuen Resultaten beim *Wismuth* (2431, 3151, 3168) und vielen anderen Erscheinungen lässt sich derselbe Schluss in Betreff der Kraftlinien für das Innere dieser Substanz ziehen; denn die Wirkungen sind, soweit sie die Erregung eines Stromes in derselben betreffen, die nämlichen, und so fügt sich zugleich den früheren von mir gegebenen Beweisen ein weiterer hinzu, dass Wismuth nicht in einem dem Eisen oder einem Magnet entgegengesetzten Sinne polarisirt werde (2429, 2640). Berücksichtigt man die Erscheinungen, welche das bezügliche Verhalten paramagnetischer und diamagnetischer Substanzen darbieten, so lassen sich dieselben Schlüsse für alle Körper und den Raum selbst (2787 etc.) ziehen.

3165. Es ist ohne Zweifel wahr, dass die Eisenscheibe die Vertheilung der *Kraftlinien* beeinflusst, und in welchem Maasse dies geschieht, erkennt man leicht, wenn man eine kurze Magnetnadel von etwa 0,1 oder 0,05 Zoll Länge in der Mitte eines gestreckten Fadens als Axe quer befestigt und sie in das magnetische Feld dem Rande der stillstehenden Scheibe nahe bringt. Man sieht dann, wie die Kraftlinien (3071, 3076) auf dem Eisen, an und nahe dem Rande, aber nur in sehr kleinem Abstande von demselben sich in jeder Richtung ansammeln; der Vorgang ist so, wie ich ihn als in der Natur eines paramagnetischen Körpers begründet angesehen

habe (2807). Im Uebrigen gehen die Kraftlinien in derselben Richtung durch das magnetische Feld, wo das Eisen sich befindet, wie da wo es nicht ist, und es ist für mich eine feststehende Thatsache, die ich durch zahlreiche Belege bewiesen habe, dass ein Querschnitt der Kraftlinien durch das magnetische Feld in der Luft dicht an dem Eisen genau denselben Kraftbetrag enthält, wie ein Querschnitt parallel zu der Eisenscheibe und durch dieselbe (3163). Alles der Induction ausgesetzte Eisen muss gerade so viel Kraft, d. i. so viel Kraftlinien in seinem Innern enthalten, als der Anzahl der es treffenden, es durchsetzenden und aus ihm austretenden Kraftlinien äquivalent ist; und dasselbe gilt, wie mir scheint, für jede andere paramagnetische und diamagnetische Substanz. Auch *für den Magnet selbst* gilt dasselbe; denn ich habe gezeigt, dass ein Querschnitt durch den Magnet genau gleichwerthig ist irgend einem Querschnitt durch die äusseren Kraftlinien (3121). Hierbei kann man von Querschnitten an der Oberfläche des Magnets ausgehen, wo man sie beliebig als in der Luft oder in dem Magnet befindlich, und demnach an Grösse, Gestalt, Kraft, Polarität und in jeder anderen Hinsicht als gleich ansehen kann.

3166. Ich habe bei einer früheren Gelegenheit den Ausdruck *Leitungspolarität* gebraucht (2818, 2835) und ihn so eingeschränkt, dass er weder dort noch hier zu einem Missverständniss meiner Meinung verleiten kann. Es bedarf keiner Worte, um zu zeigen, wie er in dem umfassenderen und allgemeinen Begriff der Richtung oder Polarität der Kraftlinien enthalten ist.

3167. Es wurden noch einige andere Resultate mit dem Scheiben-Apparat (3159) erhalten, deren Beschreibung hier nützlich sein dürfte. Bei Anwendung einer *Zinn*scheibe von 0,2 Zoll Durchmesser und 0,1 Zoll Dicke hatte die Reibung des kupfernen Leiters gegen ihren Rand die Entstehung eines schwachen Stromes zur Folge von umgekehrter Richtung als bei Anwendung von Kupfer und Eisen (3161); aber der durch die Rotation entstehende Strom, der von der Polarität der Kraftlinien abhängig ist, hatte dieselbe Richtung wie in früheren Fällen. Derselbe brachte bei zwei Umdrehungen der Scheibe eine Ablenkung von $14^0,9$ Grad hervor.

3168. Die Reibung des kupfernen Leiters gegen eine *Wismuth*scheibe hatte einen viel zu starken Strom zur Folge, um bei der einfachen Anordnung ein brauchbares Resultat zu ermöglichen. Daher wurde ein Ring aus Blattkupfer auf die Wismuthscheibe dicht aufgesetzt und durch Streifen von blankem Blattkupfer festgekeilt, so dass ein blanker steifer Contact gebildet wurde, der ohne Zweifel unvollkommen, aber doch so gut war, als es sich unter den obwaltenden Umständen ermöglichen liess. Die Rotation dieser Scheibe in der einen Richtung bewirkte eine Ablenkung in demselben Sinne wie bei Anwendung einer Kupfer- oder Eisenscheibe; bei der Rotation in der anderen Richtung war die Ablenkung gering oder

Null. Dieser Unterschied beruht darauf, dass in dem einen Falle Rotation und Reibung zusammenwirken, in dem anderen Falle sich entgegen wirken; aber die Resultate zeigen, dass die das Wismuth zwischen den Magnetpolen durchsetzenden Kraftlinien dieselbe Richtung haben wie die durch Kupfer und Eisen gehenden. Der Inductionsstrom ist schwach, sowohl wegen der schlechten Leitungsfähigkeit des Wismuths, als auch wegen des unvollkommenen Contactes an dem Rande. Wurde derselbe Kupferreif auf die Kupferscheibe gesetzt, so ging die Ablenkung der Nadel von $26^0{,}5$ auf $9^0{.}34$ zurück.

3169. Zur Veranschaulichung des Einflusses derjenigen Theile der Scheibe, welche, da sie sich nicht an dem Orte stärkster Wirkung befinden, die durch die radialen Theile an dem Orte stärkster Wirkung entstehenden Ströme rückwärts leiten, hatte ich mir eine Holzscheibe von 2,5 Zoll Durchmesser und 0,2 Zoll Dicke angefertigt, dessen Mitte zum Zwecke der Befestigung und elektrischen Verbindung aus Kupfer bestand, und dessen äusseren Rand ein Kupferring von nur $^1/_{20}$ Zoll Dicke bildete. Beide waren durch einen einzigen radialen Kupferdraht von 0,056 Zoll Dicke verbunden, der also bei der Rotation der Scheibe quer durch das magnetische Feld mitgeführt wurde. Es trat eine Ablenkung von 14^0 ein. Die Kupferscheibe von 0,05 Dicke gab im Mittel eine Ablenkung von nur 28^0. Wiewohl nun die Masse des Kupferringes rings um das Holz zum Theil bei der Entstehung des Stromes mitwirkt, so entfällt doch der Hauptantheil der Wirkung auf den Kupferradius, der an dem wirksamen Theil in der Nähe des Randes (3160) nicht mehr als den 140sten Theil der vollen Kupferscheibe ausmacht; und dies zeigt, wieviel von der durch die magnetische Kraft daselbst in Bewegung gesetzten Elektricität in den anderen Theilen der Scheibe in kurzen Kreisen zurückgekehrt sein muss.

3170. Der Scheiben-Apparat zeigt recht gut die Abhängigkeit des Inductionsstromes von der *Durchschneidung* der Kraftlinien (3082, 3113). Wird die Scheibe so aufgestellt, dass ihr Rand den Magnetpolen zugekehrt ist und sie sich in der Ebene der magnetischen Axe befindet, dass sie also den an ihr vorbei und durch sie hindurch gehenden Kraftlinien *parallel* ist, so zeigen sich bei ihrer Rotation, wie dieselbe auch vor sich gehen mag, und wenn man auch den stärksten Magnet anwendet, nicht die geringsten Spuren eines Stromes am Galvanometer.

3171. Die Beziehung des Inductionsstromes zu dem Leitungsvermögen der Metallsubstanz (3152) führt zu der Annahme, dass er bei Anwendung anderer Körper, wie Wasser, Wachs, Glas u. s. w. nur deshalb nicht auftritt, weil ihr Leitungsvermögen so ausserordentlich gering ist. Ich dachte, dass sich am Ende durch ein dem bei den Metallen angewandten analoges Verfahren auf Nichtleitern wie Schellack, Schwefel u. s. w. statische Elek-

tricität würde nachweisen lassen, und habe von diesem Gesichtspunkte aus viele Versuche in einem starken magnetischen Felde angestellt, jedoch ohne ein entscheidendes Resultat.

3172. Alle diese Ergebnisse sind mit *bewegten Metallen* erhalten worden. Allein blosse Bewegung würde keine Relation ergeben, die nicht ihre Grundlage in einem vorausgegangenen Zustande hätte, und daher müssen auch die *ruhenden* Metalle eine gewisse Beziehung zu dem wirksamen Kraftcentrum haben. Dieselbe braucht nicht nothwendig von dem paramagnetischen oder diamagnetischen Verhalten der Metalle bedingt zu sein, da in einem Metall, das in dieser Hinsicht am Nullpunkt*) steht, ebenso gut ein Strom entstehen würde als in den anderen. Die Beziehung entspricht nicht den Anziehungen oder Abstossungen der Metalle und ist daher nicht magnetisch in dem gemeinen Sinne des Wortes, sondern entspricht irgend einer andern Function der Kraft. Eisen, Kupfer und Wismuth sind in ersterem Sinne sehr verschieden von einander, aber wenn sie sich quer durch Kraftlinien bewegen, so geben sie dasselbe allgemeine Resultat, nur modificirt durch das elektrische Leitungsvermögen.

3173. Wenn eine derartige Beziehung einstmals durch den Versuch nachgewiesen werden, und die Idee von einem elektrotonischen Zustande (60, 242, 1114, 1661, 1729) wieder aufleben und begründet werden sollte, so wird man wahrscheinlich finden, dass auch solche Körper wie Wasser, Oel, Harz u. s. w. denselben Zustand annehmen; denn der Mangel an Leitung, welcher die Ausbildung eines Stromes in ihnen verhindert, widerstreitet nicht dem Dasein dieses der Wirkung der Bewegung vorausgehenden Zustandes. Ein Stück Kupfer, in welchem kein Strom bestehen kann, weil es nicht einen Theil eines geschlossenen Kreises bildet (3087), und ein Stück Lack, in welchem es deshalb nicht geschehen kann, weil er ein Nichtleiter für Elektricität ist, haben am Ende eigenthümliche, aber doch analoge Zustände, wenn sie sich durch ein magnetisches Feld bewegen.

3174. Zum Schlusse dieser Abhandlung kann ich nicht umhin, meine Ueberzeugung von der Wahrheit, welche die Darstellung der magnetischen Wirkungen durch Kraftlinien an sich trägt, von Neuem auszusprechen. Alles was, diesen Wirkungen angehörig, nicht hypothetisch, sondern experimentell festgestellt ist, lässt sich durch diese Vorstellung gut und treu veranschaulichen. Welcher Vorstellung wir uns auch zum Ausdruck der magnetischen Kraft bedienen, so werden wir in dieselbe zuletzt auch die elektrischen Kräfte einschliessen müssen, denn beide sind mit einander so verknüpft, dass ein und derselbe Ausdruck für beide gelten sollte. In dieser Hinsicht scheint mir die Idee der Kraftlinien Vorzüge vor der Methode zu haben, sich die magnetischen Kräfte als Wirkungscentra vorzustellen. In einem geraden Draht zum Beispiel, den ein elektrischer Strom

---

*) Siehe oben Art. 3999. D. Ü.

durchläuft, ist es offenbar unmöglich, sich die magnetischen Kräfte als Wirkungscentra vorzustellen, während die Kraftlinien ein einfacher und treuer Ausdruck derselben sind. Das Studium dieser Linien war mir oft von grossem Einfluss bei Erlangung mannigfacher Resultate, deren Nützlichkeit, glaube ich, ebenso gut wie ihre Fruchtbarkeit erwiesen ist. Beispiele davon sind: das Gesetz der magnetoelektrischen Induction (114), die Inductionswirkung der Erde (149, 161, 171), die Beziehung zwischen Magnetismus und Licht (2146 und Anm.), die diamagnetische Wirkung und ihr Gesetz (2243) und die magnekrystallische Wirkung (2454). Einen ähnlichen Einfluss jenes Studiums auf mein Denken kann man ferner erblicken in den Betrachtungen, welche zum Gegenstande haben die Polarität diamagnetischer Körper (2640), die Beziehung zwischen den magnetischen Curven und der Entstehung elektrischer Ströme (243), die Erklärung der Arago'schen Erscheinung (81) und die Unterscheidung zwischen dieser und gewöhnlichem Magnetismus (243, 245), die Beziehung zwischen elektrischen und magnetischen Kräften (1709), die magnetische Leitung (2797) und den atmosphärischen Magnetismus (2847). Ich habe mich in der That an die Anwendung dieser Linien so gewöhnt, besonders in meinen letzten Untersuchungen, dass ich unwissentlich ein günstiges Vorurtheil über sie habe und kein ganz klarsehender Richter mehr bin. Doch war ich stets bemüht, Theorie und Meinung durch das Experiment zu prüfen und zu controliren, habe aber weder hierdurch noch durch eine Kreuz- und Querprüfung des Princips einen Irrthum in ihrer Anwendung finden können.

3175. Während der Abfassung dieser Abhandlung bemerke ich, dass ich in den letzten Reihen dieser *Untersuchungen*, der XXV., XXVI. und XXVII., den Ausdruck *Kraftlinien* zuweilen in so unbestimmter Weise gebraucht habe, dass ich den Leser in Zweifel gelassen habe, ob ich darunter bloss eine bildliche Auffassung der Kräfte verstehe oder die Bahn, längs welcher die Kraft sich continuirlich äussert. Was ich zu Anfang dieser Abhandlung gesagt habe (3075), wird die Sache klar machen. Ich habe bisher keinen Grund gefunden, zu wünschen, irgend etwas an jenen Abhandlungen geändert zu sehen, mit Ausnahme dieser Zweifel zurücklassenden Ausdrücke. Allein dies lässt sich richtig stellen, wenn man festhält, dass, wo das Wort *Kraftlinie* einfach als Ausdruck der Vertheilung der Kräfte genommen ist, es auch vollkommen dieser Bedeutung entspricht, dass es aber da, wo es die Idee von der *physischen Art und Weise* der Kraftübertragung darzustellen scheint, in dieser Hinsicht die Meinung ausdrückt, zu welcher ich jetzt neige. Die Meinung mag irrig sein, und doch bliebe *alles*, was sich auf die Vertheilung der Kraft bezieht, das nämliche.

3176. Der Werth des bewegten Drahtes oder Leiters zur Untersuchung der magnetischen Kräfte scheint mir sehr gross zu sein, weil er die Physik des Gegenstandes in einer von der Magnetnadel ganz verschiedenen Weise anfasst. Nicht bloss erfolgen seine Angaben nach einem ganz anderen

Princip und in einer ganz anderen Weise, sondern er beeinflusst auch die Kraft bei der gegenseitigen Wirkung zwischen ihm und der Quelle derselben in verschiedener Weise. Der ruhende Draht stört nicht merklich die Vertheilung der Kraft im magnetischen Felde; die Nadel thut es durch ihre blosse Gegenwart. Der bewegte Draht stört nicht merklich die Vertheilung der äusseren Kräfte, ausser etwa bei grossen Massen wie den Scheiben (3163) oder wenn die Zeit in Betracht kommt (1730), er stört also nicht die Vertheilung der gesammten Kraft oder die Anordnung der Kraftlinien; ein magnetisches Feld von gleichförmiger Intensität bleibt ein solches gegen alles, ausser gegen den Draht, der sich quer durch dasselbe bewegt. Der bewegte Draht giebt auch die Kraftmenge an, unabhängig von Spannung (2870); er zeigt, dass erstere innerhalb und ausserhalb eines Magnets dieselbe ist, wenn auch die Spannung eine sehr verschiedene ist. Ausser diesen Vorzügen ist das Princip auch gültig für das Innere von Magneten wie von paramagnetischen und diamagnetischen Körpern, so dass es eine umfassendere Anwendung gestattet als die Nadel und so eine auf andere Weise nicht erreichbare Art experimenteller Aufschlüsse liefert.

Royal Institution,
9. October 1851.

NEUNUNDZWANZIGSTE REIHE.[1])

§ 35. *Ueber die Anwendung des magnetoelektrischen Inductionsstromes zum Nachweis und zur Messung magnetischer Kräfte.*

Eingegangen am 31. December 1851, — Gelesen am 25. März und 1. April 1852.

3177. Der Vorschlag, welchen ich gemacht habe, den magnetoelektrischen Inductionsstrom zum Nachweis des Daseins, der Richtung und des Betrages der magnetischen Kräfte zu benutzen (3074), verlangt, dass ich die Principien klar darlege und die zu diesem Zwecke erforderliche praktische Ausführung auseinandersetze; insbesondere, dass ich beweise, dass die inducirte Strommenge genau proportional ist der Anzahl der magnetischen Kraftlinien, welche von dem bewegten Draht, in dem der Strom entsteht und in die Erscheinung tritt, geschnitten werden (3082, 3109). Der bereits gegebene Beweis dürfte für die, welche die Versuche wiederholen wollen, genügen; um jedoch die Beweise zu vermehren, wie es sich für die erste Empfehlung eines solchen Vorschlages ziemt, ging ich zu Versuchen mit der magnetischen Kraft der Erde über, die uns ein Wirkungsfeld darbietet, dessen Intensität sich nicht wie das kleiner Magnete mit der Entfernung rasch ändert, sondern das man an einem gegebenen Orte als der Intensität und Richtung nach gleichförmig ansehen kann. Denn in einem Raume, in welchem sich kein Magnet gewöhnlicher Art befindet, haben die ihn durchsetzenden erdmagnetischen Kraftlinien alle dieselbe Richtung, nämlich die der Inclinationsnadel, wie sich durch eine freie Nadel oder andere Mittel nachweisen lässt, und sind an jeder Stelle in gleichem Verhältniss oder gleicher Anzahl vorhanden, d. h. sie haben gleiche Intensität. Da nun die Kraft überall dieselbe ist, so ist am Ende das Verhältniss derselben zu dem in dem bewegten Draht erregten Strome einfacher und unmittelbarer zu bestimmen, als bei Anwendung eines kleinen Magnets, dessen Feldintensität sich mit der Entfernung rasch ändert.

---

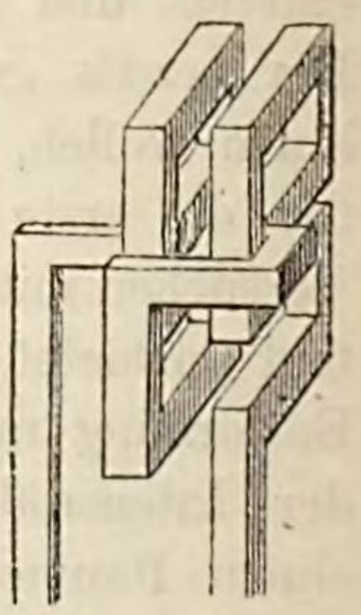
[1]) Philosophical Transactions, 1852, p. 137.

I. Galvanometer.

3178. Um nunmehr die experimentellen Resultate mitzutheilen, muss ich von dem angewandten Galvanometer und den bei seiner Benutzung erforderlichen Vorsichtsmassregeln sprechen. Das Instrument ist bereits im Princip beschrieben (3123) und eine Abbildung des die Nadeln umgebenden Leiters mitgeteilt worden. Dieser Leiter kann als ein rechteckiger Kupferbarren von 0,2 Zoll Dicke angesehen werden, der zweimal um die Schwingungsebene jeder Nadel des astatischen Paares herumgeht, sich dann nach aussen fortsetzt und in zwei abwärts gehende Stücke endigt, welche in Quecksilbernäpfchen tauchen. Da beide Nadeln innerhalb der Windungen dieses Barrens liegen, so dient als Zeiger eine Borste oder ein feiner Kupferdraht, der über und parallel zu ihnen an derselben Axe befestigt ist, und der, indem er die gebräuchliche Kreistheilung durchwandert, den Ort und den Ausschlag der Nadeln unter ihm angiebt. Zur Aufhängung dient ein Coconfaden und im Uebrigen gleicht das Instrument einem gewöhnlichen guten Galvanometer.

3179. Es ist sehr wichtig, dass der die Nadeln umgebende Kupferbarren vollkommen rein sei. Die verticale Nullebene sollte der Construction zufolge in der Mitte zwischen den beiden verticalen Windungen des Barrens (Fig. 1) liegen; statt dessen pointirte die Nadel anfänglich nach der einen oder anderen Seite, indem sie offenbar von den aufrechten Theilen des Barrens angezogen wurde. Ich befürchtete anfangs, dass das Kupfer magnetisch sei, allein durch sorgfältige Reinigung der Oberfläche mit feinem Sandpapier war ich im Stande, diese Wirkung zu beseitigen, die ohne Zweifel von Eisen herrührte, das ersterer durch Angreifen mit den Händen oder mit Werkzeugen mitgetheilt worden war, und die Nadel stellte sich dann wirklich in einer von den beiden Windungen äquidistanten Ebene ein, wenn diese Ebene mit der des magnetischen Meridians zusammenfiel.

Fig. 1.



3180. Sämmtliche Verbindungsstücke dieses Galvanometers (3123, 3133) bestanden aus Kupferdraht von 0,2 Zoll Durchmesser, aber selbst bei Anwendung so dicker Drähte sollten die Zuleitungen nicht länger sein, als nothwendig; denn eine Verlängerung von 6 auf 8, 10 oder 12 Fuss bewirkt einen beträchtlichen Unterschied am Galvanometer, wenn elektrische Ströme von geringer Intensität gemessen werden sollen. In solchen Fällen lässt sich die Geltung des Ohm'schen Gesetzes an der Wirkung der Ströme sehr schön beobachten. Zu längeren Zuleitungen dienten gerade Drähte mit abwärts gebogenen

Enden, die in Quecksilbernäpfchen eintauchten, wodurch die Verbindung hergestellt und der Kreis geschlossen wurde. Die Schälchen waren Höhlungen in flachen Holzstücken. Die Enden der Verbindungsstücke und des Galvanometerbarrens wurden erst verzinnt und dann amalgamirt, wodurch ihr Contact mit dem Quecksilber gut und sicher war. Selbst da, wo eine directe Verbindung zwischen den festen Substanzen hergestellt werden sollte, fand ich es sehr zweckmässig und sicher, die Enden der Leiter zu verzinnen und zu amalgamiren, dabei das überschüssige Quecksilber fortzunehmen. So präparirte Flächen geben stets guten und vollkommenen Contact.

3181. Wenn die Kupferspirale an ihrer Stelle ist und die Nadel nur unter dem Einfluss des Erdmagnetismus steht, so muss diese die wahre Nulllage einnehmen, und dies scheint sie auch zu thun. Wenn dies wirklich der Fall ist, so müssen gleiche Kräfte, die man nach einander auf entgegengesetzten Seiten der Nadel einwirken lässt (indem man beispielsweise zwei entgegengesetzte Ströme durch die Spirale sendet), letztere *in gleichem Maasse* nach beiden Seiten ablenken, wie es in der That auch geschieht. Aber zuweilen kann es vorkommen, dass die Nadel, wenn sie auf Null zu stehen scheint, sich nicht genau im magnetischen Meridian befindet, weil eine schwache Torsion des Aufhängungsfadens, selbst nur von 10^0 oder 15^0 (für eine indifferente Nadel), die dem die Magnetnadel beobachtenden Auge ganz unmerklich ist, sie ablenkt; alsdann ist die Kraft, welche der Schwingung der Nadel entgegenwirkt, sie hemmt und in die Nulllage zurücktreibt (nämlich die Torsion im Verein mit dem Erdmagnetismus) nicht gleich an beiden Seiten, und die Folge davon ist, dass der Ausschlag nach beiden Seiten bei gleichen Kräften nicht gleich, sondern nach der einen Seite grösser ist, als nach der anderen.

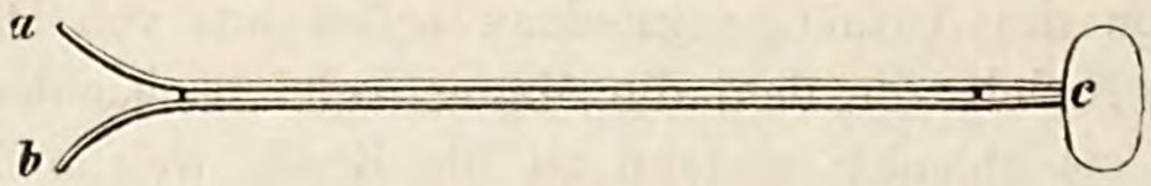
3182. Ich habe bisher noch kein Galvanometer mit einer Vorrichtung zur Regulirung der Torsion des Aufhängungsfadens gesehen. Auch kann es noch andere Ursachen geben, welche eine kleine Ungleichheit der Kräfte zu beiden Seiten der Nulllage des Instruments bewirken, wie das Vorhandensein unbekannter Eisenmassen in der Umgebung des Zimmers, in den Wänden und an anderen Stellen; daher ist es rathsamer, *Doppelbeobachtungen* zu machen. Alle Erscheinungen, mit denen wir zu thun haben, äussern sich in zwei entgegengesetzten Richtungen. Eine Drahtschleife, die über einen Magnetpol geschoben (3133) einen Ausschlag in der einen Richtung hervorbringt, ruft einen solchen, wenn sie fortgezogen wird, in der anderen Richtung hervor. In den zu beschreibenden Rechtecken und Ringen (3192) entsteht je nach ihrer Rotationsrichtung ein Strom in der einen oder in der entgegengesetzten Richtung. Behufs Messung der Polstärke oder der Wirkung eines die magnetischen Kraftlinien schneidenden Drahtes habe ich daher meine Beobachtungen stets in beiden Richtungen, bald abwechselnd, bald in unregelmässiger Folge gemacht, aus diesen die Mittel für jede

der beiden Richtungen (welche in verschiedenen Fällen von $^1/_{50}$ bis $^1/_{300}$ von einander abwichen) berechnet und das Mittel hieraus als Ausdruck der Stärke des inducirten elektrischen Stromes oder der inducirenden magnetischen Kräfte genommen.

3183. Sorgfältig hat man die Lage des Instruments und des mit ihm verbundenen Apparates so zu wählen, dass sie sich nicht in der Nähe einer Flamme oder von Quellen von verschiedener Temperatur befinden und durch verschiedene Temperirung verschiedener Theile Thermoströme entstehen. Das Instrument ist ausserordentlich empfindlich gegen thermoelektrische Ströme; das zufällige Auffallen eines Sonnenstrahles auf eins der beiden Quecksilbernäpfchen während weniger Augenblicke störte seine Angaben und machte es eine Zeit lang unbrauchbar.

3184. Um den verhältnissmässigen Werth der Scalentheile oder der Graduirung dieses Instruments an verschiedenen Stellen empirisch, d. h. experimentell zu ermitteln und es so zur Messung brauchbar zu machen, wurden folgende Versuche angestellt. Eine Schleife, wie die früher beschriebene (3133), Fig. 2, wurde durch Zuleitungen, die die Schleife 9 Fuss von dem Galvanometer entfernt hielten, mit diesem verbunden und festgelegt. Der benutzte Stabmagnet war aus zwei Streifen von je 12 Zoll Länge, 1 Zoll Breite und 0,5 Zoll Dicke zusammengesetzt und seine Stärke derart, dass er an jedem Ende einen Haufen reinen Eisenfeilichts von durchschnittlich 45 Gran Gewicht zu tragen vermochte. Mittelst eines Flaschenzuges konnte der Magnet in verticaler Stellung mit seinem unteren Ende durch die Schleife geführt werden, bis letztere mit dem Aequator des Magnets zusammenfiel (3191), dann rasch entfernt und dieselbe Procedur beliebig wiederholt werden. Wenn der Magnet so bewegt wurde, ohne dass die Schleife (durch eins der Quecksilbernäpfchen) mit dem Galvanometer verbunden war, so war keine Aenderung in der Lage der Nadeln wahrzunehmen; der directe Einfluss des Magnets reichte also bei einem Abstand von 9 Fuss hierzu nicht aus.

Fig. 2.



3185. Es ist wohl zu merken, dass bei allen mit diesem Instrument gemachten Beobachtungen, wenn nichts Anderes gesagt ist, die *Schwingung* als Ausdruck der Wirkung angesehen und in Rechnung gezogen worden ist. Ein constanter Strom hat eine constante und dauernde Ablenkung an einem Messapparat zur Folge; allein hier ist dies nicht der Fall. Die zu beobachtenden Ströme sind von kurzer Dauer und ertheilen der Nadel gleichsam nur einen Stoss oder Antrieb, wodurch die Nadel in Schwingung ge-

räth, und der zur Folge hat, dass die Ablenkung noch zunimmt, lange nachdem der Strom bereits vorüber ist. Nichtsdestoweniger ist die Schwingungsgrösse abhängig von der Elektricitätsmenge, welche der kurzdauernde Strom mit sich führt, und, wie die Versuche anzudeuten scheinen, ihr einfach proportional, gleichviel ob die Elektricität eine längere oder kürzere Zeit zur Strömung braucht (3104), und trotz der verhältnissmässigen Veränderlichkeit der Stärke des Stromes während seiner Dauer.

3186. Die Schwingung des Galvanometers betrug, als der Magnet einmal in die Schleife eingeführt wurde und darin gelassen wurde, 16^0; als die Nadel wieder die Nulllage eingenommen hatte, wurde der Magnetstab herausgezogen, was einen entgegengesetzt gerichteten Strom und einen Ausschlag von gleichfalls 16^0 nach der anderen Seite zur Folge hatte. Aus vielen abwechselnden Bewegungen der oben beschriebenen Art erhielt man im Mittel eine Ablenkung von 16^0, also als Ausdruck der Wirkung einer einmaligen Durchschneidung der Kraftlinien dieses Magnets (3102). Um einzusehen, wie sich die Wirkung zweier oder mehrerer Durchschneidungen dieser Kraftlinien summiren liess, muss man sich erinnern, dass eine Schwingung der Nadel von rechts nach links eine gewisse Zeit (13 Secunden) dauert, so dass man im Stande ist, den Magnet durch die Schleife zu stecken, den Stromkreis durch Herausheben eines der Zuleitungsdrähte aus dem Quecksilber zu unterbrechen, den Magnet fortzuziehen, der hierbei keinerlei Wirkung äussert, den Quecksilbercontact wieder herzustellen und den Magnet wieder in die Drahtschleife einzuführen, ehe noch ein Zehntel der Zeit vergangen ist, während welcher die Nadeln in Folge des ersten ihnen ertheilten Stosses schwingen. Auf diese Weise lassen sich zwei Impulse summiren und deren vereinte Wirkung auf die Nadel beobachten; ja, es lassen sich thatsächlich innerhalb der erforderlichen Zeit, d. h. innerhalb der Hälfte oder zwei Drittel der ganzen Schwingung drei und auch vier Impulse ertheilen, aber freilich würden die letzteren eine geringere Einwirkung auf die Nadeln ausüben, weil diese in dem Augenblick, da ihnen die Stösse ertheilt würden, mehr oder weniger schief gegen den Strom in der Spirale liegen würden. Was die durch den Magnet in der Drahtschleife inducirten Ströme betrifft, so müssen sie ohne Zweifel bei jeder Einführung des Magnets in dieselbe gleich sein.

3187. Auf diese Weise erhielt ich folgende Resultate bei einmaliger, zweimaliger, dreimaliger und viermaliger Einführung desselben Magnets.

	^{0}
Bei einmaliger Einführung	15
Bei zweimaliger Einführung . . .	31,25
Bei dreimaliger Einführung . . .	46,87
Bei viermaliger Einführung . . .	58,50.

Es kann nicht entgehen, dass diese Zahlen sich angenähert wie 1, 2, 3, 4

zu einander verhalten[1]), und ich darf bemerken, dass bei der Beobachtung der Endlage einer Schwingung, die bloss einen Moment innegehalten wird, ein Fehler sich einschleichen muss, der auf die erste Beobachtung, da er in ihr zugleich die Vergleichseinheit trifft, einen grösseren Einfluss haben muss als auf die anderen, in die er nur mit der Hälfte oder einem Drittheil seines Werthes zur Hälfte oder einem Drittheil des gesammten Resultats hinzutritt. Wenn wir demnach den bei zweimaliger Einführung des Magnets erhaltenen Ausschlag halbiren, so erhalten wir $15^0{,}625$; der bei dreimaliger Einführung erhaltene durch 3 getheilt, giebt $15^0{,}61$, mithin nahezu identische Zahlen, so dass, wenn wir zu der ersten Zahl der obigen Reihe nur $0^0{,}6$ addiren, sich die Verhältnisszahlen 1, 2, 3 ergeben. Der Grund, weshalb die vierte Verhältnisszahl kleiner ist, nämlich $14^0{,}625$, ist vielleicht der schon oben angegebene, die Neigung der Nadel zu der Spirale, zur Zeit, da ihr der Impuls ertheilt wird (3186).

3188. Um solche Fälle mehr zu vermeiden und kleinere Ablenkungen zu vergleichen, die zur Vergleichung künftiger Versuche die wichtigsten sind, benutzte ich bloss einen der Stäbe des oben erwähnten zusammengesetzten Magnets (3184) und erhielt folgende Resultate:

	^{0}
Bei einmaliger Einführung	8
Bei zweimaliger Einführung . . .	15,75
Bei dreimaliger Einführung . . .	23,87
Bei viermaliger Einführung . . .	31,66,

Zahlen, die sich fast genau wie 1, 2, 3 und 4 verhalten. Eine Division, wie oben, ergiebt 8^0, $7^0{,}87$, $7^0{,}95$, $7^0{,}91$; wenn wir demnach von der 8, also der der ersten Beobachtung entsprechenden Zahl nur 0,09 abziehen, so kommt jenes einfache Verhältniss heraus.[2])

3189. Hieraus geht hervor, dass bei dieser Art der Anwendung und

---

[1]) Siehe Note zu 3189.

$\sin \frac{15}{2}$	$= \sin {}^{0}_{7}\,{}'_{30}$	$= \cdot 130526$		$\cdot 130526$
$\sin \frac{31{,}25}{2}$	$= \sin 15{,}625 = \sin 15\ 37{,}5$	$= \cdot 269200$	$\frac{269200}{2}$	$= \cdot 134600$
$\sin \frac{46{,}87}{2}$	$= \sin 23{,}435 = \sin 23\ 26{,}1$	$= \cdot 3976818$	$\frac{3976818}{3}$	$= \cdot 1328606$
$\sin \frac{58{,}50}{2}$	$= \sin 29{,}25 = \sin 27\ 15$	$= \cdot 4886212$	$\frac{4886212}{4}$	$= \cdot 1221553$
[2]) $\sin \frac{8}{2}$	$= \sin {}^{0}_{4}$	$= \cdot 0697565$		$\cdot 0697565$
$\sin \frac{15{,}75}{2}$	$= \sin 7{,}875 = \sin 7\ 52{,}5$	$= \cdot 1370123$	$\frac{1370123}{2}$	$= \cdot 0685061$

Messung der magnetischen Kräfte die Ablenkungen, wenn die Amplituden klein sind, nahezu proportional sind der auf den bewegten Draht einwirkenden magnetischen Kraft.[1])

3190. Die Stärke der Nadeln habe ich Tage, ja Wochen hindurch recht constant gefunden. Bei einiger Sorgfalt kann man sich die Constanz ihres Zustandes für einen Tag leicht sichern, und das ist Alles, was für vergleichende Versuche erforderlich ist. Die von mir benutzten Nadeln hatten einschliesslich der Axe und des als Zeiger dienenden Drahtes ein Gewicht von 9 Gran; ausserhalb der Kupferspirale vollführten sie eine ganze Schwingung in 26 Secunden.

3191. Mit diesem Instrument wiederholte ich die meisten Versuche mit den früher beschriebenen Drahtschleifen (3133 etc.) und erhielt dieselben Resultate wie früher. Ich überzeugte mich auch, dass, um das Maximum der Wirkung zu erhalten, die Drahtschleife bis zum Aequator eines regelmässigen Stabmagnets hingeführt werden musste, und dass das Resultat ein geringeres war, wenn sie diese Stelle nicht ganz erreichte oder überschritt. Bei Anwendung eines 12 Zoll langen Magnets betrug die Ablenkung, wenn die Drahtschleife auf eine Strecke von

2,3 Zoll	über den Magnet geschoben war . . .	$5{,}91^0$
4,1 „	„ „ „ „ „ „ . . .	7,50
5,1 „	„ „ „ „ „ „ . . .	7,74
6,1 „	„ „ „ „ „ „ . . .	8,16
8,0 „	„ „ „ „ „ „ . . .	7,75
9,0 „	„ „ „ „ „ „ . . .	6,50.

$$\sin\frac{23{,}87^0}{2} = \sin 11{,}935^0 = \sin 11^0\,56{,}1' = \cdot 2068019 \quad \frac{2068019}{3} = \cdot 0689340$$

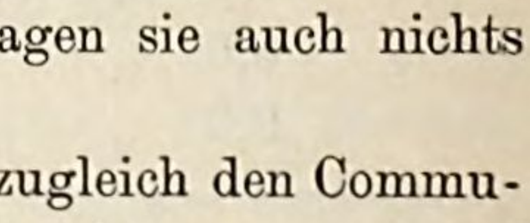
$$\sin\frac{31{,}66}{2} = \sin 15{,}83 = \sin 15\;49{,}8 = \cdot 2727840 \quad \frac{2727840}{4} = \cdot 0681960$$

[1]) Christie hat mich auf eine von ihm in den Philosophical Transactions 1833, p. 95 veröffentlichte Arbeit aufmerksam gemacht, wo er p. 111 etc. die Wirkung magnetoelektrischer Impulse, wie man es nennen kann, untersucht, wie sie sich in der Ablenkung der Magnetnadel äussert. Er fand, dass die Geschwindigkeit des Stosses der Nadel, die ein Maass der auf sie einwirkenden Kraft im Augenblick ihrer Bewegung ist, proportional ist dem Sinus des halben Schwingungsbogens. Meine Darstellung würde demnach im Allgemeinen irrig sein; allein für kleine Bogen sind die Resultate von der Wahrheit nicht weit entfernt. Der Irrthum hat keinen störenden Einfluss auf die allgemeinen Betrachtungen und Schlussfolgerungen dieser Abhandlung; und da die Zahlen durch Versuche erhalten worden sind, die zwar mit einem etwas primitiven und rohen Apparat, aber doch mit Sorgfalt angestellt und einfach als Ablenkungen bezeichnet sind, so ziehe ich es vor, sie so zu geben, wie ich sie habe, als sie zu ändern. Christie hatte die Güte, für mehrere Versuche den wahren Ausdruck der Kraftwirkung aufzustellen, und ich habe seine Resultate an den betreffenden Stellen in Fussnoten angeführt. — 26. Jan. 1852.

II. Rotirende Rechtecke und Ringe.[1])

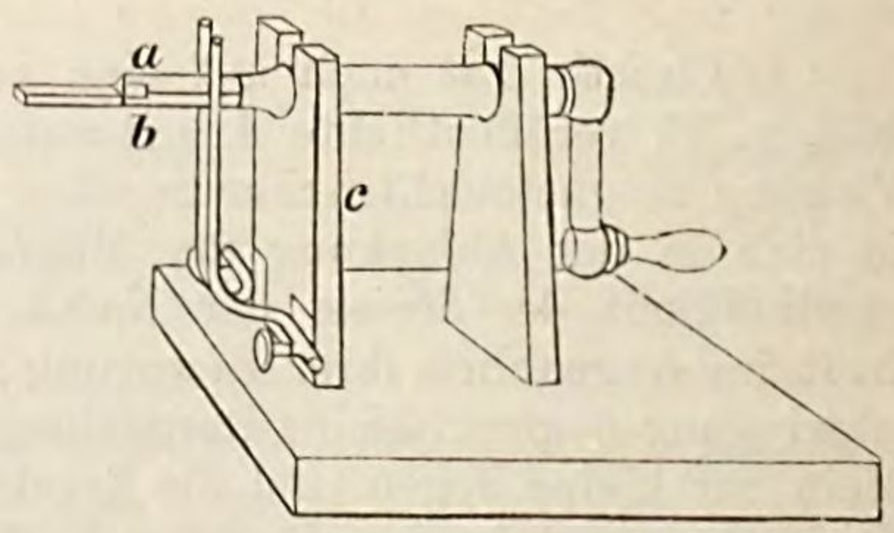
3192. Zu Versuchen über die Wirkung der erdmagnetischen Kräfte (3177) auf bewegte Drähte habe ich diesen die Gestalt eines Rechteckes odes Ringes gegeben. Wenn ein rechteckiger Draht (Fig. 3) in einer zur Inclinationsrichtung senkrechten Ebene einmal um die Axe *ab* gedreht wird, so werden die beiden Seiten *cd* und *ef* die magnetischen Kraftlinien in dem Flächenraum *cedf* zweimal schneiden. Bei der ersten halben Umdrehung hat die entgegengesetzte Richtung, in welcher die beiden Seiten *cd* und *ef* diese Linien schneiden, zur Folge, dass in ihnen ein Strom entsteht, der das Rechteck in einer gegebenen Richtung zu durchlaufen sucht (161); bei der Drehung um weitere 180^0 geht ihre vereinte Wirkung dahin, einen Strom von entgegengesetzter Richtung zu erregen, so dass, wenn der erste Strom in der Richtung *dcefd* geht, der zweite die Richtung *dfecd* hat. Ist das Rechteck nicht geschlossen, sondern bei *b* offen, und die Enden daselbst mit einem Commutator verbunden, welcher den Strom umkehrt, wenn das Rechteck in die zur Inclinationsrichtung senkrechte Ebene kommt, d. h. nach jeder halben Umdrehung, so kann man die nach einander entstehenden Ströme sammeln und durch das Galvanometer senden, um sie zu messen. Die Seiten *ce* und *df* des Rechteckes kann man lediglich als Leiter ansehen; denn da sie bei ihrer Bewegung keine Kraftlinien schneiden, so tragen sie auch nichts zur Stromerregung bei.

Fig. 3.



3193. Der Apparat, der diese Rechtecke trägt und zugleich den Commutator zur Umkehrung der inducirten Ströme bildet, besteht aus zwei auf einem Holzbrette befestigten Ständern, die eine horizontale hölzerne Axe tragen, deren eines Ende mit einer Kurbel versehen ist und deren anderes Ende hervorragt; der Apparat hat die in Fig. 4 abgebildete Gestalt. Man sieht, dass auf der Axe zwei halbcylindrische Kupferstreifen *ab* befestigt sind, die einen Cylinder um dieselbe bilden, jedoch so, dass ihre Ränder sich nicht berühren, sondern einen Zwischenraum auf gegenüberliegenden Seiten der Axe zwischen sich lassen. An dem unteren Ende des Ständers *c* sind zwei starke

Fig. 4.



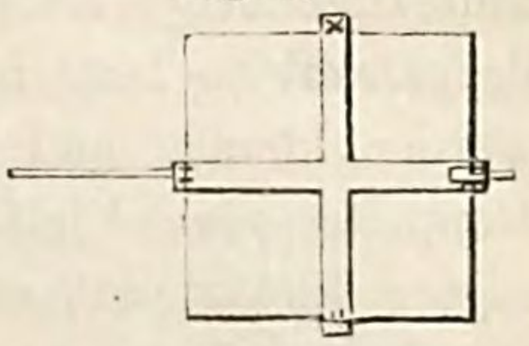
---

[1]) Ein Freund machte mich darauf aufmerksam, dass Nobili im Juli 1832 Versuche mit rotirenden Ringen oder Spiralen, die dem Einfluss des Erdmagnetismus ausgesetzt waren, angestellt hat. Dieselben folgten jedoch erst meinen eigenen Versuchen vom Januar 1832 über schwingende Drähte (171, 148) und ro-

Kupferstäbe von 0,2 Zoll Durchmesser befestigt, die hier in mit Schrauben versehenen Hülsen enden, welche die Enden der Stäbe, die von den Galvanometerschälchen (3180) herkommen, aufzunehmen bestimmt sind; von hier gehen erstere vollkommen gerade und einander parallel in die Höhe und drücken kräftig gegen die gekrümmten Streifen des Commutators auf gegenüberliegenden Seiten. Die Folge davon ist, dass jedesmal, wenn bei der Rotation der Axe die Trennungslinien zwischen den Commutatorhälften an der Horizontalebene ankommen und dieselbe durchschreiten; der Contact der letzteren mit den aufrechten Stäben umgekehrt wird und demgemäss auch die Richtung des Stromes, der von den Commutatorplatten zu den Stäben und von diesen weiter zum Galvanometer geht. Die anderen oder äusseren Enden der Commutatorplatten sind verzinnt, um sie durch Löthung mit den Enden eines dem Versuch zu unterwerfenden Rechteckes oder Ringes zu verbinden.

3194. Das Rechteck selbst ist an einem hölzernen Kreuz (Fig. 5) befestigt, dessen einer Arm eine Hülse trägt, die sich über den Theil der hölzernen Axe, die über die Commutatorplatten hervorragt, herüberschieben lässt, um mit der Axe in Rotation versetzt zu werden. Der Theil des Kreuzes, welcher auf der Axe sitzt, setzt sich in ein Kupferstäbchen fort, dessen Ende in einer Höhlung eines besonderen Ständers liegt, der dazu dient, das Rechteck mit seinem Kreuze zu tragen und festzuhalten. Ich hatte Kreuze von zweierlei oder dreierlei Grösse zu Rechtecken von 12 Zoll Seite oder auch zu grösseren bis zu 36 Zoll Seite. Das Rechteck wird so aufgestellt, dass es sich zugleich mit der Trennungslinie der Commutatorplatten in der Horizontalebene befindet, und wird je ein Ende desselben mit je einer der beiden Commutatorplatten verlöthet. Wenn wir es mit den Kraftlinien der Erde oder anderen zu thun haben, so ist klar, dass die Axe nur soweit gedreht zu werden braucht, bis die beiden aufrechten Kupferstäbe die Commutatorplatten seitlich von der Trennungslinie berühren, und dann wird der Apparat so eingestellt, dass die Ebene des Ringes oder Rechteckes senkrecht ist zur Richtung der Kraftlinien, welche untersucht werden sollen; dann wird bei einer Drehung des Commutators und des die Kraftlinien schneidenden Drahtes der Strom die Maximalstärke haben, die durch diese magnetische Kraft in diesem Draht entstehen kann. Die erdmagnetischen Kraftlinien sind unter einem Winkel von 69^0 gegen die Horizontalebene geneigt. Da jedoch die Resultate nur zur Vergleichung dienen sollten, so war der

Fig. 5.



---

tirende Kugeln (160) und waren durch sie veranlasst; aber Nobili dehnte seine Versuche auch aus auf den Einfluss der *Dicke* des Drahtes, des *Durchmessers* der Windungen und der von der *Länge* des Drahtes abhängigen *Anzahl* der Windungen. Die (in Tabellen geordneten) Resultate finden sich in vol. I, p. 244 etc. der Florenzer Ausgabe seiner Abhandlungen. — 1. März 1852.

Apparat bei allen folgenden Versuchen in der Horizontalebene aufgestellt, mit der Rotationsaxe senkrecht zur Ebene des magnetischen Meridians; unter diesen Umständen war jede Ursache zu Fehlern oder Abweichungen in den Ergebnissen ausgeschlossen. Da kein Magnet weiter benutzt wurde, so war der Commutator 3 Fuss von dem Galvanometer entfernt aufgestellt, und es genügten demnach zur Herstellung der Verbindungen zwei Drähte von 3 Fuss Länge und 0,2 Zoll Dicke. Das eine Ende dieser Drähte tauchte in die Galvanometer-Quecksilberschälchen, das andere Ende derselben war verzinnt und amalgamirt und in den Hülsen der Commutatorstäbe (3193) mittelst der Klemmschrauben befestigt (Fig. 4).

3195. Wenn es sich darum handelt, eine gegebene Drahtlänge in der zur Hervorbringung des Maximaleffectes geeignetsten Form anzuordnen, so sind die bei Anwendung einer Drahtschleife und eines kleinen Magnets (39, 3184) zu berücksichtigenden Umstände ganz andere als bei Benutzung eines rechteckigen oder anders gestalteten Drahtes und der magnetischen Kraftlinien der Erde. Im Falle des kleinen Magnets werden *sämmtliche* ihm zugehörige Kraftlinien von der Drahtschleife eingeschlossen; und wenn der Draht so lang ist, dass daraus zwei oder mehr Windungen gebildet werden können und das Ganze über den Pol geschoben wird, so wird das Doppelte oder Vielfache der bei Anwendung eines einfachen Kreises erregten Elektricität entwickelt (36). Für den Erdmagnetismus jedoch gilt gerade das Entgegengesetzte; denn da die Flächenräume von Kreisen, Quadraten, Rechtecken u. s. w. sich wie das Quadrat des Umfanges, und die geschnittenen Kraftlinien sich wie die Flächenräume verhalten, so ist es viel besser, aus einem gegebenen Draht einen einfachen Kreis als zwei oder mehr Windungen zu bilden. Ein Draht von zwölf Fuss Länge zu einem Quadrat geformt, schneidet bei einer Umdrehung die durch einen Flächenraum von neun Quadratfuss gehenden Kraftlinien, während er, wenn daraus drei Windungen von einem Quadratfuss Fläche gebildet werden, nur die diesem Flächenraum entsprechende Anzahl von Linien schneidet; und es ist dreimal so vortheilhaft, die Linien eines Flächenraumes von neun Quadratfuss einmal zu schneiden, als dreimal die Linien eines Flächenraumes von nur einem Quadratfuss.

3196. Ein aus vier Fuss Kupferdraht von 0,05 Zoll Durchmesser gebildetes Quadrat, das also einen Quadratfuss Flächeninhalt hatte, wurde auf dem Commutator befestigt und in der bereits beschriebenen Weise (3194) verbunden. Sechs Umdrehungen desselben bewirkten einen Ausschlag von 14^0 oder 15^0 am Galvanometer; in der zu einer Schwingung erforderlichen Zeit liessen sich zwölf rasche Umdrehungen vollführen (3104). Zunächst wurden die Resultate von *raschen* und *langsamen* Umdrehungen mit einander verglichen. Sechs langsame Umdrehungen gaben im Mittel aus mehreren Versuchen einen Ausschlag von $15^0{,}5$; dasselbe Resultat lieferte dieselbe Anzahl von Umdrehungen bei mässiger Geschwindigkeit;

bei grosser Geschwindigkeit betrug das Mittel bei sechs Umdrehungen $15^0,66$. Zwölf Umdrehungen gaben bei mässiger Geschwindigkeit im Mittel einen Ausschlag von $28^0,75$ und bei grosser Geschwindigkeit einen mittleren Ausschlag von $31^0,33$. Wie oben auseinandergesetzt (3186), ist der wahrscheinliche Grund, weshalb rasche Umdrehungen eine grössere Wirkung geben als solche von mässiger oder geringer Geschwindigkeit, der, dass in letzterem Falle die späteren Umdrehungen zu einer Zeit stattfinden, wo die Nadel aus ihrer zu der Kupferspirale des Galvanometers parallelen Lage so weit heraus ist, dass die ihr ertheilten Impulse weniger zur Wirksamkeit gelangen. Daher ist es am besten, eine geringe oder mässige Anzahl von Umdrehungen mit grosser Geschwindigkeit auszuführen. Der Unterschied in dem extremen Falle ist geringer, als man hätte erwarten sollen, und dies zeigt, dass in dieser Beziehung ein Einwand gegen die Methode, bei den Versuchen von der Vorstellung der magnetischen Kraftlinien auszugehen, praktisch nicht berechtigt ist.

3197. Um nun einen Ausdruck für die Stärke der erdmagnetischen Kraft mittelst dieses Rechteckes zu erlangen, wurden, wie bereits besprochen (3182), die Ablenkungen zu beiden Seiten der Nulllage beobachtet. Neun mässig rasche Rechtsumdrehungen (also entsprechend dem Uhrzeiger) ergaben im Mittel aus vielen Versuchen $23^0,87$ und in der entgegengesetzten Richtung $23^0,37$; das Mittel hieraus beträgt für die neun Umdrehungen des Rechteckes $23^0,62$, also $2^0,624$ für jede Umdrehung. Nun gaben die sechs raschen Umdrehungen (3196) $15^0,66$, also jede Umdrehung $2^0,61$, und die zwölf raschen Umdrehungen $31^0,33$, also gleichfalls jede Umdrehung $2^0,61$. Die Uebereinstimmung dieser Resultate, $2^0,624$, $2^0,61$ und $2^0,61$ ist also eine sehr grosse und gewährt grosses Zutrauen zu dieser Methode, die magnetischen Kräfte zu untersuchen.[1])

3198. Ich bildete mir nun aus derselben Strecke (4 Fuss) desselben Drahtes ein Rechteck, dessen Seiten respective 8 und 16 Zoll lang waren (Fig. 6), so dass die bei der Rotation die Kraftlinien schneidenden Seiten nicht wie im vorigen Falle 12, sondern nur 8 Zoll betrugen und der Flächenraum nicht 144, sondern 128 Quadratzoll. Mit diesem Rechteck erhielt man denselben Unterschied im Resultat bei raschen und langsamen Rotationen

Fig. 6.

Fig. 7.

---

[1]) $\sin \frac{15,66}{2} = \sin 7^0,83 = \sin 7^0\,49',8 = \cdot 1362343 \qquad \frac{1362343}{6} = \cdot 0227057$

$\sin \frac{23,62}{2} = \sin 11,81 = \sin 11\ 48,6 = \cdot 2047069 \qquad \frac{2047069}{9} = \cdot 0227474$

$\sin \frac{31,33}{2} = \sin 15,665 = \sin 15\ 40 = \cdot 2700403 \qquad \frac{2700403}{12} = \cdot 0225034$

wie oben (3196). Neun Rechtsumdrehungen gaben einen Ausschlag von $20^0,87$; neun Linksdrehungen im Mittel einen Ausschlag von $20^0,25$; das Mittel hieraus ist $20^0,56$ oder $2^0,284$ für jede Umdrehung. Ein drittes Rechteck aus derselben Drahtsorte und von denselben Seitenlängen, also 8 und 16 Zoll (Fig. 7), wurde so in Umdrehung gesetzt, dass die doppelt so langen Seiten als im vorigen Falle, also die 16 Zoll langen, die Kraftlinien schnitten. Der Flächeninhalt des Rechteckes blieb derselbe, 128 Quadratzoll, wie früher, und ebenso war auch der Erfolg langsamer und rascher Umdrehungen der gleiche wie in den früheren Fällen (3196, 3198). Bei neun Rechtsumdrehungen erhielt man einen mittleren Ausschlag von $20^0,75$ und bei neun Linksumdrehungen $21^0,375$; das Mittel hieraus ist $21^0,06$ oder $2^0,34$ für jede Umdrehung.

3199. Die Zahl 2,34 kommt 2,284 so nahe, dass sie bei dem gegenwärtigen Stande der Untersuchung als gleich angesehen werden können. Die geringe Abweichung war vermuthlich dadurch verursacht, dass die Centrifugalkraft die Mitte der langen Seiten während der Rotation nach aussen drängte. Die nahe Uebereinstimmung der Zahlen zeigt, dass die Abänderung in der Gestalt des Rechteckes und in der Länge der die magnetischen Kraftlinien schneidenden Drahtseiten keinen Einfluss auf das Resultat hatte, das, da es allein von der Anzahl der geschnittenen Kraftlinien abhängt, in beiden Fällen dasselbe ist, da der Flächenraum der Rechtecke derselbe war. Dies zeigt sich ferner bei einer Vergleichung dieser Resultate mit denen, welche bei dem Quadrat erhalten wurden. Der Flächenraum desselben betrug 144 Quadratzoll und die Ablenkung für jede Umdrehung $2^0,61$. Der Flächenraum der Rechtecke beträgt 128 Quadratzoll und das Mittel aus den beiden Versuchsreihen mit diesen $2^0,312$ für jede Umdrehung. Nun verhält sich 144 zu 128 wie 2,61 zu 2,32, und letztere Zahl ist so nahe 2,312, dass sie als identisch angesehen werden können. Dies beweist also, dass die Stärke des inducirten elektrischen Stromes direct proportional ist der Anzahl der von dem bewegten Draht geschnittenen Kraftlinien.[1])

3200. Es mag auch bemerkt werden, dass es keinen Unterschied macht, ob die Kraftlinien hauptsächlich in der Bewegungsrichtung oder in der

---

[1]) Die Rechtecke von 128 Quadratzoll Flächeninhalt gaben im Mittel $20^0,81$ (3198); das Quadrat von 144 Quadratzoll $23^0,62$ (3197).

$$\sin \frac{20,81}{2} = \sin 10,405^0 = \sin 10^0\,24',3 = \cdot 1806049$$

$$\sin \frac{23,62}{2} = \sin 11,81 = \sin 11\,48,6 = \cdot 2047069$$

$$\frac{128}{144} = \frac{8}{9} \qquad \begin{array}{l} \cdot 1806049 \times 9 = 1,6254441 \\ \cdot 2047069 \times 8 = 1,6376552 \end{array}$$

$$\text{Oder } \frac{\cdot 1806049}{8} = \cdot 0225756 \qquad \frac{\cdot 2047069}{9} = \cdot 0227452$$

Längsrichtung des Drahtes vertheilt sind, d. h. Aenderungen in der *Geschwindigkeit* der Bewegung oder der Länge des Drahtes hatten keinen Einfluss, vorausgesetzt dass die Anzahl der geschnittenen Kraftlinien dieselbe blieb.

3201. Mit einem an dem Kreuz befestigten Quadrat von 12 Zoll Seite aus 0,1 Zoll dickem Kupferdraht erhielt ich im Mittel aus vielen Beobachtungen bei einer, zwei, drei, vier und fünf Umdrehungen desselben folgendes Resultat:

	^{0}		^{0}	
Eine Umdrehung gab	7	also	7	pro Umdrehung,
Zwei Umdrehungen gaben	13,875,	also	6,937	pro Umdrehung,
Drei Umdrehungen gaben	21,075,	also	7,025	pro Umdrehung,
Vier Umdrehungen gaben	28,637,	also	7,159	pro Umdrehung,
Fünf Umdrehungen gaben	37,673,	also	7,527	pro Umdrehung.

Diese Resultate stimmen sehr nahe mit einander überein, insbesondere innerhalb der Ablenkungen bis 30^0 und bestätigen mehrere der vorher gezogenen Schlüsse (3189, 3199) in Betreff der Angaben des Instruments, der Anzahl der Curven u. s. w.[1])

3202. Ein anderes Mal verglich ich gleichförmige Umdrehungen eines Rechteckes aus 0,2 Zoll dickem Draht mit sehr unregelmässigen, die sogar bisweilen rückwärts ausgeführt und fortwährend ruckweise dem Grade nach verschieden gehalten wurden, aber doch stets so, dass in der gehörigen Zeit eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen vollführt wurden. Das Mittel aus vielen Versuchen, deren Ergebnisse einander sehr nahe gleich waren, betrug für zwei gleichförmige, ebenmässige Umdrehungen $17^0{,}5$, und denselben Werth erhielt man auch für zwei unregelmässige, unbeständige Umdrehungen.

3203. Hierauf untersuchte ich die Beziehung des erzeugten Stromes zu der Masse des Drahtes, eine Beziehung, nach der ich schon früher bei Anwendung von Schleifen und kleinen Magneten gesucht hatte (3133).[2])

---

[1]) $\sin \frac{7}{2} = \sin {}^0 3{,}30 = \cdot 0610485$ Differenzen $\cdot 0597381 = \cdot 0610485$

$\sin \frac{13{,}875}{2} = \sin 6{,}9375 = \sin {}^0 6\,56{,}25 = \cdot 1207866$ $\cdot 0620924$ $\frac{\cdot 1207866}{2} = \cdot 0603933$

$\sin \frac{21{,}075}{2} = \sin 10{,}5375 = \sin 10\ 32{,}25 = \cdot 1828790$ $\cdot 0644329$ $\frac{\cdot 1828790}{3} = \cdot 0609596$

$\sin \frac{28{,}637}{2} = \sin 14{,}3185 = \sin 14\ 19{,}11 = \cdot 2473119$ $\cdot 0752595$ $\frac{\cdot 2473119}{4} = \cdot 0618279$

$\sin \frac{37{,}637}{2} = \sin 18{,}8185 = \sin 18\ 49{,}11 = \cdot 3225714$ $\frac{\cdot 3225714}{5} = \cdot 0645142$

[2]) Siehe eine entsprechende Untersuchung von Christie. Philosophical Transactions, 1833, p. 120.

Zu diesem Zwecke hatte ich zwei weitere Quadrate von je einem Fuss Seitenlänge, aber der dazu verwandte Kupferdraht des einen hatte einen Durchmesser von 0,1 Zoll, der des anderen einen Durchmesser von 0,2 Zoll. Sie waren also an Umfang, Gestalt und Flächeninhalt gleich dem früheren, aber die Drahtmassen standen in dem Verhältniss von 1 zu 4 zu 16. Das Quadrat von 0,1 Zoll Drahtdicke gab bei sechs Rechtsumdrehungen im Mittel $41^0,75$ und bei sechs Linksumdrehungen $46^0,25$; das Mittel hieraus ist 44^0; dies durch sechs dividirt giebt $7^0,33$ als Ablenkung pro Umdrehung. Drei Rechtsumdrehungen gaben $20^0,12$; drei Linksumdrehungen $23^0,1$; das Mittel hieraus ist $21^0,61$, was als Ablenkung pro Umdrehung $7^0,20$ ergiebt. Dieses Resultat stimmt sehr nahe mit dem vorhin für sechs Umdrehungen erhaltenen, $7^0,33$, überein und ist bedeutend grösser als der Effect, den das Quadrat von 0,05 Drahtdicke gab, und der $2^0,61$ betrug. Trotzdem verhalten sich die Zahlen nicht wie 4 zu 1: dies konnte auch nicht erwartet werden, da die Masse des Hauptleiters dieselbe blieb (3137). Eine Vergleichung der Resultate mit denen, welche bei Anwendung gleicher Drähte in Form von Schleifen erhalten wurden, ergiebt eine ausserordentlich nahe Uebereinstimmung; dort erhielten wir 16^0 und $44^0,4$ (3136), was im vorliegenden Falle dem Verhältniss von 2,61 zu 7,26 entsprechen würde und mit dem Verhältniss 2,61 zu 7,242 fast identisch ist.

3204. Wie aus Obigem ersichtlich, weichen die Mittelwerthe der Resultate für Rechts- und Linksumdrehungen beträchtlich von einander ab, nämlich um 4^0 bis 5^0. Dies beruht jedoch nicht auf einem Fehler im Princip, sondern rührt lediglich davon her, dass die Galvanometernadeln in ihrer Ruhelage ein wenig seitwärts vom Nullpunkte standen (3182). Ich wollte das Instrument nicht sogleich einstellen, da ich auf spontane Aenderungen der Nulllage wartete, und ziehe es vor, die Zahlen, wie ich sie bei der Untersuchung erhalten habe, mitzutheilen, als irgend welche Correctionen an den Beobachtungen anzubringen.

3205. Das dritte Quadrat von 0,2 Zoll Drahtdicke gab so grosse Ausschläge, dass ich es nur eine geringe Zahl von Umdrehungen ausführen liess. Drei Rechtsumdrehungen lieferten im Mittel $25^0,58$; drei Linksumdrehungen $28^0,5$; das Mittel hieraus ist $27^0,04$, und der Betrag für die einzelne Umdrehung $9^0,01$. Bei zwei Rechtsumdrehungen ferner erhielt man $17^0,5$; bei zwei Linksumdrehungen 18^0; das Mittel hieraus ist $17^0,75$, und der Werth für die einzelne Umdrehung $8^0,87$; das Mittel aus den beiden Versuchsreihen ergiebt $8^0,94$, und diese Wirkung ist demnach abermals grösser als die des vorstehenden Quadrats, dessen Draht nur halb so dick war als der des letzteren. Dieselbe Drahtdicke hatte auch die früher angewandte Schleife (3136) und wenn wir die damaligen Resultate mit den gegenwärtigen vergleichen, so ist es merkwürdig, wie nahe sie einander kommen, und dies erweckt grosses Zutrauen zu den Principien und der Ausführbarkeit beider Untersuchungsarten. Wandte man Drähte in Form

von Schleifen an, deren Massen im Verhältniss von 1 zu 4 zu 16 zu einander standen, so verhielten sich die durch das Galvanometer angezeigten Stromstärken wie 1,00 zu 2,77 zu 3,58; dieselben Drahtmassen in Form von Rechtecken lieferten unter dem Einflusse des Erdmagnetismus die Verhältnisszahlen 1,00, 2,78 und 3,45.[1])

3206. Aus 0,05 Zoll dickem Kupferdraht von 16 Fuss Länge construirte ich ein Quadrat von 12 Zoll Seite und vier Windungen. Bei der Rotation schneidet es dieselbe Anzahl von magnetischen Kraftlinien wie das frühere Quadrat von 0,1 Zoll Drahtdicke (3203). Der die Linien schneidende Draht hat auch dieselbe Masse, allein in Anbetracht der Dicke ist das Leitungsvermögen des ersten Drahtes nur ein Viertel von dem des zweiten, und überdies ist er viermal so lang, wodurch sein Widerstand ebenfalls grösser ist. Bei sechs Rechtsumdrehungen erhielt man im Mittel eine Ablenkung von $20^0,6$ und bei sechs Linksumdrehungen $19^0,7$; das Mittel hieraus ist $20^0,15$ und demnach der Betrag pro Umdrehung $3^0,36$. Mit dem anderen Quadrat von gleichem Flächeninhalt und gleicher Masse, das jedoch nur aus einer einzigen Drahtwindung bestand (3203), erhielt man $7^0,26$ pro Umdrehung, also einen mehr als doppelt so grossen Betrag wie in dem vorliegenden Falle. Bei Anwendung eines Galvanometers von so vorzüglicher Leitung wie das beschriebene (3123, 3178) ist es daher besser, den bewegten Draht aus einer einzelnen Windung dicken Drahtes als aus vielen Windungen dünnen Drahtes herzustellen. Wendet man jedoch unter allen möglichen Umständen denselben Draht von demselben Flächeninhalt an, dann sind natürlich zwei oder mehr Windungen besser als eine.

3207. Es war jedoch zu erwarten, dass in dem Quadrat aus dünnem Draht ein Strom von geringerer Quantität zwar, aber von grösserer *Intensität* entstehen würde als in dem dicken Drahtviereck, und um dies durch den Versuch festzustellen, verband ich die beiden Vierecke nacheinander mit dem Ruhmkorff'schen Galvanometer (3086), dessen Draht bloss $^1/_{135}$ Zoll Durch-

---

[1]) $\sin \frac{27,04}{2} = \sin 13^0,52 = \sin 13^0\ 31',2 = \cdot 2337848$; $\frac{\cdot 2337848}{2} = \cdot 0779283$. Mit dem Quadrat von 12 Zoll Seite und 0,05 Zoll Drahtdicke erhielt man bei sechs Umdrehungen (3196, 3197) als Werth des Sinus des halben Ablenkungswinkels pro Umdrehung ·0227057. Ein ähnliches Quadrat von 0,10 Zoll Drahtdicke ergab bei fünf Umdrehungen (3021) für den Sinus des halben Ablenkungswinkels pro Umdrehung $\frac{\cdot 03225174}{2} = \cdot 06451428$. Ein Quadrat von 0,20 Zoll Drahtdicke gab für dieselbe Grösse den Werth ·0779283.

$$\frac{\cdot 06451428}{\cdot 0227057} = 2.841 \qquad \frac{\cdot 0779283}{\cdot 0227057} = 3,432.$$

messer hatte. Das aus einer einzigen Windung dicken Drahtes bestehende Quadrat gab bei zwölf Umdrehungen einen Ausschlag von nur 1^0,66 oder 0^0,138 für eine Umdrehung, während das andere aus vier Windungen dünnen Drahtes bei zwölf Umdrehungen 7^0,33 oder 0^0,61 pro Umdrehung gab. Nun weichen die Nadeln der beiden Instrumente im Gewicht und sonst nicht erheblich von einander ab, so dass wir zwar nicht den Anspruch einer genauen Vergleichung an sie stellen können, aber dennoch in beiden Fällen eine bedeutende Abnahme constatiren können, die eine Folge des Widerstandes des dünnen Drahtes in dem Ruhmkorff'schen Galvanometer ist; für den dicken Draht tritt ein Abfall von 7^0,26 auf 0^0,138 ein, für den dünnen Draht von 3^0,36 auf 0^0,610. Doch hat das Quadrat aus dünnem Draht weit weniger an Wirksamkeit eingebüsst und seine Einwirkung auf das Galvanometer ist über viermal grösser als die des Vierecks aus dickerem Draht. Von dem Effect des dicken Drahtes geht weniger als ein *fünfzehntel* durch den dünnen Galvanometerdraht, der gesammte übrige Theil ist gehemmt; von dem Effect des dünnen Drahtes überwindet ein im Verhältniss mehr als zehnfacher Betrag oder ein viertel bis ein fünftel (wegen der höheren Intensität des Stromes) den Widerstand des Instruments. Die wirklich durch den dünnen Galvanometerdraht gehende Elektricitätsmenge ist natürlich weit kleiner, als obigem Verhältniss entspricht. Der dicke Draht geht höchstens in vier Windungen, während der dünne Draht wahrscheinlich in vierhundert und mehr Windungen um die Nadeln herumgeht, so dass die Elektricität, welche wirklich hindurchströmt, wahrscheinlich nicht den hundertsten Theil von derjenigen beträgt, welche in dem dicken Galvanometerdraht circuliren muss, um eine gleiche Ablenkung hervorzubringen. Diese Sachlage beeinträchtigt nicht die oben ausgesprochenen Erwägungen über die relative Intensität der magnetoelektrischen Ströme in den beiden Vierecken.

3208. Ich construirte mir nun ein grosses Quadrat aus 0,2 Zoll dickem Kupferdraht von 36 Zoll Seite, das also aus 12 Fuss Draht bestand und einen Flächeninhalt von 9 Quadratfuss hatte, und befestigte es an dem Commutator mittelst Hülfsvorrichtungen, die für den vorliegenden Zweck genügten, aber keine genaue Regulirung gestatteten. Dasselbe brachte eine erhebliche Wirkung auf das Galvanometer aus dickem Draht (3178) hervor; bei Einer Umdrehung erfolgte ein Ausschlag von 80^0 und darüber, und bei continuirlicher Rotation erfuhren die Nadeln eine dauernde Ablenkung von 40^0 bis 50^0. Es war sehr interessant zu sehen, wie, als das Quadrat seine Bewegung von der Horizontalebene aus begann, die Intensität des Stromes zunahm, dann wieder abnahm, und dass, wie der Gang der Nadeln zeigte, während der ersten 10^0 bis 20^0 der Drehung eine sehr schwache Wirkung auf sie ausgeübt wurde, die aber stark war, wenn die Drehung 90^0 nahe war. Denn in diesem Falle schnitten die Drähte die Kraftlinien nahezu unter rechten Winkeln und daher in einer gegebenen Zeit bei gleicher

Geschwindigkeit die grösste Anzahl derselben. Es war auch sehr interessant, aus denselben Angaben die beiden Hauptimpulse (3192) bei Einer Umdrehung des Vierecks zu erkennen. In Folge seiner Grösse und Masse im Verhältniss zu den vorigen Vierecken brauchte eine Umdrehung mehr Zeit als vorher und die *Zeit* oder *Geschwindigkeit* der Drehung spielte eine wesentlichere Rolle. In einer Secunde konnte ich gerade eine Umdrehung bewerkstelligen. Eine etwas geringere Geschwindigkeit als diese war leicht zu erzielen und war passend und gross genug; dieselbe ergab für eine einzige Umdrehung eine Ablenkung von nahezu 80^0, während sie bei der halben oder dem dritten Theile oder einer noch geringeren Geschwindigkeit nur 60^0, 50^0 oder auch noch weniger betrug.

3209. Um die Wirkung einer Umdrehung von mässig grosser Geschwindigkeit zu messen, wurden zunächst fünfzehn Beobachtungen für eine Rechtsdrehung gemacht; dieselben stimmten sehr gut mit einander überein und ergaben als Mittel $78^0,846$; das Mittel aus siebzehn Beobachtungen einer Linksdrehung betrug $78^0,382$; und ich glaube, dass das Mittel aus diesen Ergebnissen, also $78^0,614$ ein guter erster Ausdruck der Wirkung dieses Vierecks ist. Als ich hierauf bei einer Messung der Seitenlängen fand, dass sie in der Querrichtung zu den die Kraftlinien schneidenden Seiten des Drahtvierecks weniger als 36 Zoll betrugen, und nach Verbesserung dieser Ungleichheit die Versuche wiederholte, erhielt ich eine Ablenkung von $81^0,44$. Ich glaube, dass die Differenz von $2^0,83$ eine wirkliche Folge der Aenderung und Vergrösserung des Flächenraumes ist, der nun genauer 9 Quadratfuss betrug, und gleichzeitig ist mir dies ein Beweis von der Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit des Instruments.

3210. Die beiden Impulse auf die Nadeln bei Einer Umdrehung (3208) erfolgen hier in merklich getrennter Zeit, und da die Nadel offenbar und nothwendig ihre erste Lage verlassen hat, ehe sie den zweiten Impuls erhält, so kann dieser nicht so wirksam sein als der erste. Ich beobachtete daher die Wirkung einer halben Umdrehung und erhielt im Mittel $41^0,37$. Diese Zahl drückt offenbar die Wirkung des ersten der beiden Impulse aus, und wenn wir sie von $81^0,44$ abziehen, so bleibt $40^0,07$ als Werth des zweiten Impulses unter der veränderten Lage der Nadel. Dieser Unterschied der beiden Impulse bei Einer Umdrehung, nämlich zwischen den Werthen $41^0,37$ und $40^0,07$ steht in vollkommenem Einklang mit den Resultaten, welche zu erwarten waren.

3211. Das früher (3205) benutzte Quadrat aus demselben Kupferdraht von 0,2 Zoll Dicke hatte einen Flächeninhalt von einem Quadratfuss, so dass die dort getroffenen oder den bewegten Draht treffenden Kraftlinien den neunten Theil der im vorliegenden Falle geschnittenen bildeten; die Ablenkung pro Umdrehung betrug damals $8^0,94$. Um diese beiden Fälle mit einander zu vergleichen, dividiren wir 81,44 durch 9 und erhalten somit $9^0,04$; diese Zahl kommt der ersteren so nahe, dass wir die Ergeb-

nisse mit den beiden Vierecken als identisch betrachten und zugleich als einen Beweis für die Richtigkeit des Satzes ansehen können, dass der erregte magnetoelektrische Strom sich wie die Anzahl der geschnittenen Kraftlinien verhält. Der neunte Theil der Wirkung, welche das grosse Quadrat gab (78°,614), ehe sein Flächenraum corrigirt war, beträgt 8°,734; so dass die Wirkung des einen grösser, die des andern kleiner als die des Quadrats von 12 Zoll Seite ist. Da dasselbe nicht genau eingestellt, noch auch die sonstigen Anordnungen mit äusserster Sorgfalt getroffen waren, so habe ich wenig Zweifel, dass die Resultate bei genau eingestellten Vierecken genau proportional den Flächenräumen derselben sein werden.[1])

3212. Der bewegte Draht, anstatt ein Viereck zu bilden, kann auch in Form eines Ringes angewandt werden, und man hat alsdann den Vortheil, dass der Flächenraum bei gegebener Drahtlänge ein Maximum, und der Widerstand, wenn der Draht gleichförmig ist, ein Minimum ist. Kleine Ringe von einer oder mehreren Windungen werden für die Untersuchung kleiner und localer Magnete unter verschiedenen Umständen wahrscheinlich sehr werthvoll sein. Ein Ring von etwa 1,5 Zoll Durchmesser aus zehn Windungen Kupferdraht von 49 Zoll Länge und 0,032 Zoll Dicke gab unter dem Einfluss des Erdmagnetismus nur schwache Wirkungen; in der Nähe eines Hufeisenmagnets waren die Wirkungen verschieden, je nach der Entfernung oder Lage. Ein einfacher, also aus einer Windung eines 0,2 Zoll dicken Kupferdrahtes bestehender Ring von 4 Zoll Durchmesser gab unter Einfluss des Erdmagnetismus bei sechs Umdrehungen, die oftmals wiederholt wurden, im Mittel 5°,995 oder 0°,999 pro Umdrehung. Bei zwölf Umdrehungen erhielt man im Mittel 12°,375 oder 1°,031 pro Umdrehung;[2]) das Mittel aus beiden Resultaten bei so verschiedenen Um-

---

[1]) Das Viereck von 9 Quadratfuss Flächeninhalt gab 81°,44; sin $\frac{81,44}{2}$ = sin 40,72 = sin 40° 43′,2 = ·6523630; nimmt man 41°,37 als Wirkung der halben Umdrehung (3210), so ist sin 41°,37 = sin 41° 22′,2 = ·6609190, was durch 9 dividirt ·073435 als Wirkung pro Quadratfuss ergiebt. Das Viereck aus gleichem Draht (3205) von 1 Quadratfuss Flächeninhalt gab als Wirkung einer Umdrehung ·07714 oder ·07793; die erste dieser Zahlen ist um ·00370 grösser als $\frac{1}{9}$ des als Maass der Wirkung des grossen Quadrats dienenden Werthes; der Unterschied beträgt ungefähr $\frac{1}{29}$ von ·07714 oder der ganzen Wirkungsgrösse Einer Umdrehung.

[2]) sin $\frac{5,995}{2}$ = sin 2,9975 = sin 2° 59′,85 = ·0522925

sin $\frac{12,375}{2}$ = sin 6,1875 = sin 6 11,25 = ·1077825 $\frac{·1077825}{2}$ = ·0538912

drehungszahlen beträgt 1^0. Ein anderer Ring, dessen mittlerer Durchmesser 3,6 bis 3,7 Zoll betrug, und der aus 26 Windungen 0,04 Zoll dicken Kupferdrahtes von 300 Zoll Länge bestand, gab bei zwölf Umdrehungen im Mittel $6^0{,}25$ oder $0^0{,}52$ pro Umdrehung. Die Metallmassen der beiden Ringe sind nahezu dieselben, aber der einzelne Draht des letzteren hat nur $^1/_{25}$ der Masse des ersteren. Unter Einfluss des Erdmagnetismus und bei Anwendung des Galvanometers aus dickem Draht war also seine Wirkung wenig mehr als halb so gross wie die des einfachen Ringes aus dem dicken Draht. Aus früheren Betrachtungen (3206) wissen wir, dass ein einfacher Ring aus dem 300 Zoll langen Draht eine im Vergleich zu der vorliegenden sehr starke Wirkung geben würde.

3213. Die Methode, einen Draht in Form eines Viereckes in Rotation zu versetzen, macht die Untersuchung des *Leitungs*vermögens und des Einflusses der Natur der *Substanz* oder des Durchmessers, d. h. der *Masse* oder der *Länge* sehr bequem, und der Widerstand derjenigen Theile, welche, da sie sich nicht quer, sondern parallel zu den Kraftlinien (3071) bewegen, keine erregende Wirkung haben, sondern lediglich die Rolle von Leitern spielen, kann dadurch, dass man sie massiv macht, grossentheils beseitigt werden. Sie könnten auf der Axe verschiebbar angebracht werden, so dass sie für verschiedene Drahtlängen eingestellt werden könnten, und der Commutator liesse sich thatsächlich zu einem allgemeinen Apparat von ausgedehnter Anwendung machen.

3214. Es lassen sich auch weitere Anwendungen der Methode des bewegten Drahtes voraussehen, und es erscheint durchaus nicht unwahrscheinlich, dass sie sich bei erhöhter Empfindlichkeit und Vervollkommnung des Instrumentes, bei grösserer Geschwindigkeit und eine Zeit lang in Einer Richtung fortgesetzter Bewegung und darauf folgender Umkehrung der Bewegungsrichtung, welche eine Umkehrung des Ausschlages des Galvanometers zur Folge haben würde, mit Vortheil zur Untersuchung der erdmagnetischen Kraft in verschiedenen Breiten und Orten künftig wird anwenden lassen. Um das Maximum der Wirkung zu erhalten, muss die Rotationsaxe senkrecht zu den Kraftlinien, d. h. zur Inclinationsrichtung sein. Ja, es wäre sogar möglich, die *Richtung* der Kraftlinien oder der Inclination aufzusuchen, indem man die Rotationsaxe um die Inclinationslinie drehbar machte, sie in zwei Richtungen einstellte, bis keine Wirkung auf das Galvanometer stattfände und sich nun die Lage der Axe merkte. Es würde ein den Einstellungslinien entsprechender doppelter Commutator erforderlich sein, der sich sehr einfach construiren lässt.

§ 36. Ueber den Betrag und die allgemeine Vertheilung der Kräfte eines Magnets in Verbindung mit anderen Magneten.

3215. Ehe man weiter fortschritt, mittelst eines bewegten Drahtes die Vertheilung der magnetischen Kraftlinien eines Magnets oder die physi-

kalische Natur seiner Kraft und ihre mögliche Art der Wirkung in die Ferne experimentell zu erforschen, war es sehr wesentlich, zu wissen, ob und welche Aenderung in dem Betrage der Kraft eines vollkommenen Magnets eintritt, wenn er anderen Magneten in günstigen oder entgegengesetzten Lagen ausgesetzt wäre, und wie die Kräfte im Allgemeinen und in Bezug auf das aufgestellte und, wie ich glaube, begründete Princip, dass die Kraft in allen Fällen unter jenen verschiedenen Bedingungen eine fest bestimmte sei, sich combiniren und vertheilt sind. Die Darstellung der magnetischen Kraft durch *Kraftlinien* (3074) und die Anwendung des bewegten Drahtes zum Nachweis der Kraft (3076) wird, glaube ich, viel zur Förderung dieser Untersuchung beitragen.

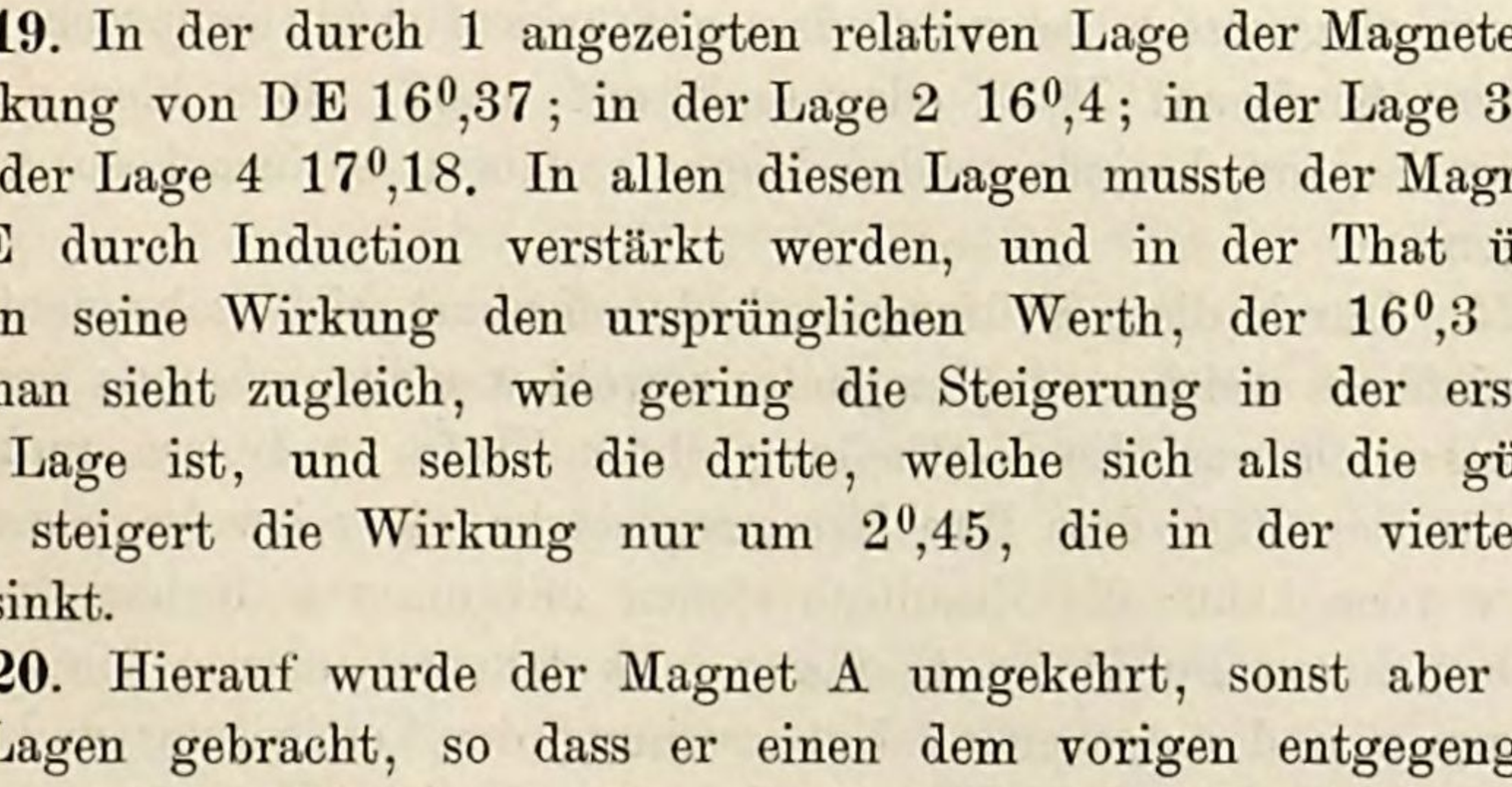
3216. Hierzu ist jedoch ein gewöhnlicher Magnet eine sehr unregelmässige und unvollkommene Kraftquelle. Nicht nur, dass sein Magnetismus, wenn der Magnet bis zu einer gegebenen Stärke magnetisirt ist, durch geringe Einwirkungen eine für die in Betracht kommende Zeit als dauernd anzusehende Schwächung oder Verstärkung erfährt, sondern seine äussere Kraft erleidet auch oft durch ungünstige oder günstige Lagen gegen andere Magnete eine beträchtliche temporäre Schwächung oder Verstärkung, welche verschwindet, sobald er aus der Nachbarschaft des dominirenden Magnets entfernt wird. Diese Aenderungen üben entsprechende Einwirkungen auf den bewegten Draht aus und machen jeden ihnen unterworfenen Magnet unbrauchbar zur Untersuchung über die Bestimmtheit der Kraft. Es sind daher unveränderliche Magnete erforderlich, die man, wie bekannt, am besten aus gutem Stahl erhält, aus dem man Stäbe formt, die man alsdann besonders gut härtet. Ich verschaffte mir daher einige dünne Stahlstreifen von zwölf Zoll Länge und einem Zoll Breite, härtete sie so gut als möglich, magnetisirte sie hierauf mittelst zweier kräftiger Stahlmagnetstäbe sehr sorgfältig und regelmässig, schüttelte sie eine kleine Weile in verschiedenen und einander entgegengesetzten Richtungen durcheinander und untersuchte hierauf mittelst Eisenfeilicht die Richtung der Kräfte. Auf diese Weise entdeckte man bei mehreren derselben kleine Sprünge und Unregelmässigkeiten, jedoch erwies sich bei zweien die Vertheilung ihrer Kräfte sehr regelmässig, die denn auch zu weiteren Versuchen gewählt wurden und als die Magnete D und E bezeichnet werden mögen.

3217. Diese beiden Magnete wurden genau in der oben beschriebenen Weise (3133) mittelst der bewegten Drahtschleife untersucht, d. h. so, dass man dieselbe über einen der Pole schob, den Ausschlag beobachtete, sie wieder entfernte, abermals den Ausschlag beobachtete und schliesslich das Mittel aus vielen Versuchen nahm; die Schleife wurde bald über den einen, bald über den anderen Pol geschoben. Die Schleife bestand aus 7,25 Zoll langem und 0,1 Zoll dickem Kupferdraht und wurde natürlich in allen folgenden vergleichenden Versuchen angewandt; ihr und der Magnete Abstand vom Galvanometer betrug 9 Fuss. Bei einem Hin- oder einem Her-

gang über den Pol, d. h. bei einmaliger Durchschneidung der Kraftlinien des Magnets D betrug die Ablenkung des Galvanometers $8^0,36$; bei einmaliger Durchschneidung der Kraftlinien des Magnets E war die Ablenkung $8^0,78$. Die beiden Magnetstäbe wurden nun mit ihren gleichnamigen Polen neben einander gelegt, so dass sie als ein einziger Magnet dienten; ihre vereinte Wirkung brachte eine Ablenkung von $16^0,3$ hervor, also nur $0^0,84$ weniger als die Summe der Wirkungen eines jeden einzelnen beträgt. Dies zeigt, dass die zusammengesetzten Magnete sich beeinflussen und in dieser Lage sich ein wenig schwächen, aber man sieht auch, wie klein die Wirkung im Vergleich zu gewöhnlichen Magneten ist (3222).

3218. Der zusammengesetzte Magnet DE (3217) wurde nun dem Einfluss eines anderen Magnets bald in ungünstigen, bald in günstigen Lagen ausgesetzt und so wurden mittelst der Schleife Versuche über seine Gesammtwirkung (nicht über die Richtung derselben) angestellt. Zu diesem Ende wurde er festgelegt und ein anderer Magnet A ihm in den in Fig. 8 angezeigten Lagen genähert oder mit ihm in Berührung gebracht; in jedem Falle wurde die Schleife, um einen genauen Mittelwerth der Kraft zu

Fig. 8.



erhalten, mehrmals über den Magnet DE geführt. Der Magnet A war der bei weitem stärkere, seine Stärke entsprach einem Ausschlag von $25^0,74$ am Galvanometer.

3219. In der durch 1 angezeigten relativen Lage der Magnete betrug die Wirkung von DE $16^0,37$; in der Lage 2 $16^0,4$; in der Lage 3 $18^0,75$ und in der Lage 4 $17^0,18$. In allen diesen Lagen musste der Magnetismus von DE durch Induction verstärkt werden, und in der That überstieg auch nun seine Wirkung den ursprünglichen Werth, der $16^0,3$ betrug; allein, man sieht zugleich, wie gering die Steigerung in der ersten und zweiten Lage ist, und selbst die dritte, welche sich als die günstigste erweist, steigert die Wirkung nur um $2^0,45$, die in der vierten Lage wieder sinkt.

3220. Hierauf wurde der Magnet A umgekehrt, sonst aber in dieselben Lagen gebracht, so dass er einen dem vorigen entgegengesetzten oder schwächenden Einfluss ausüben musste; die mit DE erhaltenen Resultate waren nun folgende:

Lage 1	$15,37^0$
Lage 2	$15,68^0$
Lage 3 . , ...	$15,37^0$
Lage 4	$16,06^0$.

Alle diese Werthe sind etwas kleiner als der ursprüngliche der Kraft von D E, der $16^0,3$ betrug, und sie zeigen, wie wenig dieser harte Stabmagnet beeinflusst wird.

3221. Als an Stelle des Magnets A ein Weicheisenstab in der ersten, zweiten und dritten Lage angewandt wurde, steigerte sich die Wirkung von D E auf die respectiven Werthe $16^0,24$, $16^0,43$ und 18^0.

3222. Wurde an Stelle des harten Magnets D E ein gewöhnlicher Stabmagnet angewandt, so war die Aenderung sehr beträchtlich. Ein Stab B von derselben Grösse und allgemeinen Beschaffenheit wie A gab für sich eine $14^0,83$ entsprechende Wirkung; wurde er aber mit A in der ungünstigen Lage 3 in Berührung gebracht (3218), so fiel seine Wirkung auf $7^0,87$, also beinahe um die Hälfte. Diese Schwächung rührte hauptsächlich von einem inneren Zwang und nicht von einer dauernden Störung des Zustandes des Magnets B her; denn sobald A entfernt wurde, stieg die Wirkung von B wieder auf $13^0,06$. Wurde B in günstiger Lage auf A gelegt und nach einigen Augenblicken entfernt, so fand sich, dass sein äusserer Wirkungswerth dauernd auf $15^0,25$ gestiegen war.

3223. Ein sehr harter Stahlstab, von 6 Zoll Länge, 0,5 Zoll Breite und 0,1 Zoll Dicke, den ich von Scoresby erhalten hatte, wurde magnetisirt und lieferte mittelst der Drahtschleife den Werth $6^0,88$ an meinem Galvanometer (3189). In die Lage 2 gegen einen zusammengesetzten Stabmagnet, wie D E, dessen Magnetismus $11^0,73$ entsprach oder fast doppelt so stark war als der des ersteren, gebracht, änderte sich seine Kraft nicht merklich, gleichviel ob jener in der einen oder der entgegengesetzten Lage gegen ihn gerichtet war. Wurde er in gleiche Lagen gegen einen zwölf Zoll langen Magnetstab gebracht, dessen Stärke $40^0,21$ entsprach, so stieg seine eigene Kraft auf $7^0,53$ oder sank auf $5^0,87$; aber hier war auch die Stärke des ihn beeinflussenden Magnets nahezu sechsmal so gross als seine eigene.

3224. Durch diese Prüfungsmethode offenbart sich sehr deutlich die Veränderlichkeit weicher Stahlmagnete, sowohl was ihre *absolute* Erregungsstärke, als auch was die Vertheilung ihrer Kraft im Innern und aussen betrifft, für den Fall, dass ihre Erregungsstärke als zeitweise constant betrachtet werden kann; die Resultate stehen mit unseren bisherigen Kenntnissen über diesen Punkt im Einklang. Es leuchtet ebenso ein, dass zu einer genauen und eingehenden Untersuchung der Vertheilung und Charaktere der magnetischen Kraft harte und unveränderliche Magnete erforderlich sind. Ein gewöhnlicher weicher Stabmagnet kann als aus harten und

weichen Theilen von ganz unbestimmbarer Vertheilung zusammengesetzt angesehen werden, von denen einige einen viel stärkeren Magnetismus annehmen und sich unter dem Einfluss äusserer Magnete weniger ändern als andere, während sie wegen der Anwesenheit anderer Theile im Innern, die als Anker wirken, weit grössere Aenderungen zu erleiden scheinen können, als es in Wirklichkeit der Fall ist. Daher sind die von Scoresby beschriebenen harten und verhältnissmässig unveränderlichen Magnete so werthvoll.

3225. Aus diesen und ähnlichen Ergebnissen lassen sich, wie mir scheint, in Bezug auf vollkommene, unveränderliche Magnete unter Anwendung des Ausdrucks *Kraftlinie*, als einer der obigen Definition (3071, 3072) entsprechenden bildlichen Darstellung der Kraft, folgende nützliche Schlüsse ziehen.

3226. Kraftlinien verschiedener Magnete in zu einander günstigen Lagen fliessen zusammen.

3227. Dieser Zusammenfluss hat keine Steigerung der Gesammtintensität der Linien zur Folge; der Querschnitt zwischen zwei an einander gelegten Polen enthält dieselbe Kraftsumme wie der Querschnitt der Linien des unveränderlichen Magnets für sich (3217). Unter diesen Umständen haben, glaube ich, die äusseren und inneren Kräfte eines und desselben Magnets dieselbe Beziehung zu einander und sind einander äquivalent, wie in einem früheren Abschnitt dieser Untersuchungen (3117) festgestellt worden ist; und daher bleibt auch der äquatoriale Querschnitt, der die durch den Magnet gehende Summe der Kräfte oder Kraftlinien repräsentirt, ungeändert (3232).

3228. Es bietet sich hier eine vollkommene Analogie dar mit dem Fall, dass zwei oder mehrere Volta'sche Batterien mit ihren Enden aneinander gelegt und zu Einer Kette verbunden werden. Wahrscheinlich existirt ein Vorgang, der für Magnete das ist, was *Intensität* für Batterien bedeutet.

3229. Die Zunahme der Einwirkung auf eine Magnetnadel oder ein Stück weiches Eisen zwischen zwei ungleichnamigen Polen in günstigen Lagen wird nicht bewirkt durch den Zuwachs der durch die Kraftlinien repräsentirten Stärke des einen Poles um die Stärke der Kraftlinien des anderen, sondern durch die Concentration der vorher zerstreut gewesenen Linien auf die Nadel oder das Eisen. Durch die Gesammtheit der Kraftlinien wird nun nicht mehr Kraft repräsentirt als zuvor, und eine Kraftlinie gewinnt durch den Zusammenfluss mit einer Kraftlinie eines anderen Magnets nicht an Intensität. In dieser Beziehung ist die Analogie mit der Volta'schen Säule ebenfalls eine vollkommene.

3230. Eine als geschlossene Curve anzusehende Kraftlinie (3117) geht in ihrem Laufe durch *beide* Magnete, die so zu einander gestellt sind, dass beide in demselben Sinne wirken, d. h. so, dass ihre Linien zusammenfallen und ineinanderfliessen. Zusammenfliessen bedeutet nicht einen Zuwachs der

Intensität einer Kraftlinie durch eine andere, sondern ihre Vereinigung zu einem gemeinsamen Kreise.

3231. Eine Kraftlinie kann durch viele Magnete gehen, ehe ihre Bahn geschlossen ist, aber der Fall ist derselbe wie bei einem einzigen Magnet. Ein dünner Stabmagnet, er sei 12 Zoll lang, zeigt mittelst Eisenfeilspäne (3235) das wohlbekannte schöne, in der Anordnung vollkommen einfache System von Kräften. Wird er in zwei Hälften zerbrochen, die aber nicht von einander getrennt werden, so lässt sich ebenso zeigen, wie durch die Unterbrechung der Continuität in der Mitte die Fortpflanzung der Kraft gestört ist, und viele der Linien, die vorher das Innere durchsetzten, nun aussen erscheinen, Taf. III, Fig. 6. Von diesen Linien, die also äussere geworden sind, kehren einige zu dem Pole, welcher der neuen Stelle, von der aus die Linien in die Luft gehen, am nächsten liegt, zurück, gehen also in ihrer geschlossenen Bahn bloss durch eine der Hälften des Magnets, während andere auf mehr oder weniger gekrümmten Wegen in die zweite Hälfte des Magnets eintreten, wobei sie im Allgemeinen die Richtung oder Polarität beibehalten, welche sie im Innern des Magnets hatten, und wobei somit beide Hälften in ihre Bahn eingeschlossen ist. Trennt man allmählich beide Hälften von einander, so ist es bei fortgesetzter Untersuchung des Verlaufes der Kraftlinien schön zu sehen, wie die von den neuen Enden ausgehenden Linien mehr und mehr zu den ursprünglichen Stabenden zurückkehren, Fig. 7, und wie die Anzahl der durch beide Hälften gehenden Linien sich verringert, bis beide Hälften so weit von einander entfernt sind, dass sie sich gegenseitig nicht mehr beeinflussen und dann zwei getrennte und für sich bestehende Magnete bilden. Dieselben Vorgänge kann man bei Anwendung mehrerer Magnete statt des einen verfolgen.

3232. Die Anzahl der Kraftlinien bleibt so lange dieselbe als die Bruchstücke des Magnetstabes ihren Magnetismus in voller Stärke beibehalten, d. h. die Summe der Kraftlinien im Aequator *eines jeden* der neuen Magnete ist gleich der Summe der Kraftlinien im Aequator des ursprünglichen undurchbrochenen Stabes. Ich nahm einen 12 Zoll langen, 1 Zoll breiten und 0,05 Zoll dicken Stahlstab, härtete ihn gut und magnetisirte ihn mittelst einer Spirale und Weicheisenkerne bis zur Sättigung; seine Stärke entsprach $6^0,9$. Hierauf durchbrach ich ihn nahe der Mitte in zwei Stücke und fand die Stärke derselben zu respective $5^0,94$ und $5^0,89$, also keinen grösseren Abfall als in Anbetracht des gesättigten Zustandes des ursprünglichen Magnets zu erwarten war. Legte man die beiden Hälften mit ihren gleichnamigen Polen neben einander, so dass sie einen zusammengesetzten Magnet bildeten, so entsprach ihre gemeinsame Wirkung $11^0,06$; dieser Werth zeigt zwar, dass eine gegenseitige Schwächung stattgefunden hat, aber er liegt nicht viel unter der Summe der Einzelwirkungen der beiden Magnete für sich. Alldies steht in vollkommenem Einklang mit der Volta'schen Batterie, wobei Linien dynamischer

elektrischer Kraft in Betracht kommen. Wenn wir in bekannter Weise eine Batterie von 20 Plattenpaaren in zwei Batterien von je 10 oder in vier Batterien von je 5 Paaren zerlegen, so kann jede der kleineren Batterien ebensoviel dynamische Elektricität liefern als die ursprüngliche Batterie, vorausgestzt dass dem Laufe der Linien, d. h. der Bahn des Stromes kein merklicher Widerstand entgegengestellt wird.

3233. Werden die Magnete in entgegengesetzter Lage aneinandergebracht, so behält jeder seine ursprüngliche Stärke bei, ebenso wie im vorigen Falle keiner von beiden des anderen Stärke vermehren konnte, und die magnetischen Kraftlinien lassen diesen Zustand der Dinge genau erkennen. In solchem Falle befinden sich zwei Magnete, die mit ihren gleichnamigen Polen hinter oder neben einander liegen. Im letzteren Falle wirken beide wie Ein zusammengesetzter Magnet und geben ein System von Kraftlinien gleich der Summe der jedes einzelnen (3232), vermindert um die Anzahl derjenigen, welche, wie bei unvollkommenen Magneten, entweder durch die weicheren Theile nach innen gekehrt sind oder überhaupt nicht erregt werden.

§ 37. Abbildung magnetischer Kraftlinien mittelst Eisenfeilspäne.

3234. Ein Experimentator, der sich die magnetischen Kräfte durch magnetische Kraftlinien vorstellen will, würde ohne Noth ein sehr werthvolles Hülfsmittel aufgeben, wenn er sich nicht der Eisenfeilspäne zu diesem Zwecke bediente. Die Anwendung derselben gestattet ihm mannigfache Zustände der Kraft selbst in complicirten Fällen dem Auge sichtbar zu machen; die veränderliche Richtung der Kraftlinien zu verfolgen und ihre Polarität zu bestimmen; zu beobachten, in welcher Richtung die Kraft wächst oder abnimmt, und in complexen Systemen die neutralen Punkte oder Stellen zu bestimmen, wo es, selbst inmitten kräftiger Magnete, weder Polarität noch sonst eine Kraftwirkung giebt. Ihre Anwendung gestattet zugleich, die Wahrscheinlichkeit gewisser Wirkungen zu erkennen, und dürfte manchen werthvollen Fingerzeig zu künftigen bedeutsamen Versuchen bieten.

3235. Nichts ist einfacher, als einen Magnet auf einen Tisch zu legen, darüber ein flaches Blatt Papier, auf dieses Eisenfeilspäne zu streuen und die Gestalt, welche sie annehmen, zu beobachten. Um jedoch die besten und allgemein brauchbarsten Resultate zu erhalten, dürften einige Unterweisungen erwünscht sein. Der Tisch, auf dem der Magnet liegt, muss genau horizontal und fest stehen. Damit das über dem Magnet liegende Papier eben sei, klemmt man es in dünne Bretter oder Latten ein, oder bedient sich anderer ähnlicher Vorrichtungen. Das Papier darf keine Falte, keinen Knick haben und muss vollkommen eben sein, damit die Eisenfeilspäne die Lage, welche der Magnet ihnen zu ertheilen sucht, ungehindert einnehmen können. Ich habe gutes Patronenpapier oder dünnes Zeichen-

papier zu diesem Zwecke geeignet gefunden. Es darf für gewöhnlich nicht zu glatt sein, da sonst die Eisenfeilspäne selbst bei schwachem Antrieb sich zu leicht zu dem Magnet hinbewegen. Bei sehr schwachen oder entfernten Magneten fand ich manchmal Silberpapier vortheilhaft. Die Eisenfeilspäne müssen rein, d. h. frei von Staub oder Oxyd sein; zwar bilden sich auch im letzteren Falle die Linien, aber die Zeichnung fällt nicht gut aus. Die Eisenfeilspäne müssen mittelst eines mehr oder weniger feinen Siebes auf das Papier gestreut werden; welche Menge davon man anzuwenden habe, muss man zum Theil ausprobiren. Man muss sich jedoch erinnern, dass die Eisenfeilspäne durch ihre Gegenwart die Vertheilung der magnetischen Kraft in gewissem Grade stören, und man muss daher bei kleinen Magneten, wie Nadeln, grosse Mengen vermeiden. Will man die erhaltenen Zeichnungen aufbewahren, so sind sowohl grobe als auch feine Eisenfeilspäne brauchbar. Für die Vertheilung derselben ist es besser, ein feines Sieb und gewöhnliche Eisenfeilspäne zu gebrauchen, als diese erst auszusondern; man erhält eine bessere Vertheilung auf dem Papier. Sind die Eisenfeilspäne ebenmässig auf das Papier gesiebt, so muss man dieses ganz sanft mit einem Holzstückchen, etwa einem Federhalter klopfen, und zwar dort, wo die Theilchen nicht genügend vertheilt sind. Die Schläge müssen senkrecht nach unten hin, nicht schief erfolgen, damit die Theilchen bei ihrer Freiheit der Bewegung nicht von ihrem Orte fortgetrieben werden, und das Papier muss an einer Ecke festgehalten werden, damit es sich nicht nach rechts oder links verschiebe. Die Linien bilden sich alsdann augenblicklich, insbesondere bei Anwendung feiner Eisenfeilspäne.

3236. Die so erhaltenen Zeichnungen lassen sich folgendermassen fixiren und bilden dann sehr werthvolle Documente der Vertheilung der Kräfte in jedem gegebenen Falle. Man biegt zwei Ecken des Papiers, auf dem die Eisenfeilspäne liegen, um, hebt es an ihnen von dem Magnet ab und legt es auf ein flaches Brett oder eine andere ebene Fläche. Man bestreicht dann ein Blatt Patronenpapier mittelst eines breiten Kameelhaarpinsels gleichmässig mit einer Lösung von einem Theil Gummi in drei bis vier Theilen Wasser, so dass es damit gut angefeuchtet wird, ohne dass die Flüssigkeit darübersteht, schwenkt es, um die Blasen zu sprengen, einigemal durch die Luft, legt es dann vorsichtig auf die Eisenfeilspäne, darüber zehn bis zwölf Lagen gleichmässigen weichen Papiers, auf das man ein Blatt legt, das man endlich mit einem Fünfzigpfundgewicht dreissig bis vierzig Secunden lang beschwert. Oder auch — und für grosse Zeichnungen ist dieses Verfahren besser — man hält die Papierbogen so, dass sie sich nicht gegen einander verschieben und fährt mit der Hand mit mässigem Drucke gleichmässig und in Einer Richtung über die ganze Oberfläche hin. Wenn hierauf das Papier abgehoben wird, so sieht man die Eisenfeilspäne, ohne dass die Gestalt der Zeichnung irgend erheblich gelitten hätte, daran haften, und nach dem Trocknen sind sie gut fixirt.

Setzt man dem Gummiwasser etwas von einer Lösung rothen Blutlaugensalzes und eine geringe Menge Weinsteinsäure zu, so erhält das Papier einen gelben Farbenton, der nicht unschön ist; ausserdem aber bildet sich unter jedem Eisentheilchen Berlinerblau und wenn man dann die Eisenfeilspäne entfernt oder sie unabsichtlich verschoben werden, so bleibt doch die Spur der Zeichnung bestehen. Will man bloss eine solche blaue Zeichnung aufbewahren, so braucht man den Gummi gar nicht und wendet nur rothes Blutlaugensalz an.

3237. Es versteht sich, dass diese Abbildungen durch ihr Aussehen nicht die relative Stärke der magnetischen Kraft an verschiedenen Stellen angeben, da das Aussehen der Linien bedeutend von der Menge der Eisenfeilspäne und dem Klopfen abhängt; aber wohl ist die Richtung und die Gestalt der Linien hiermit gegeben und hieraus lässt sich zum grossen Theil die Richtung erkennen, in welcher die Kräfte wachsen und abnehmen.

3238. Fig. 1 der Tafel III zeigt die Figuren rings um einen Magnetstab. Als ich einen kleinen Elektromagnet anwandte und die Stärke des die Magnetisirungspirale durchfliessenden Stromes abänderte, konnte ich nicht finden, dass eine Aenderung in der Stärke des so erzeugten Magnets die Gestalt der äusseren Kraftlinien irgend änderte. Fig. 2 zeigt die Linien über einem Pol und Fig. 3 zwischen ungleichnamigen Polen. Die letzteren stimmen mit den von Roget und Anderen unter Auffassung der Pole als Kraftcentra bestimmten und beschriebenen magnetischen Curven überein. Der Unterschied zwischen diesen und den zu einem ganzen ununterbrochenen Magnet gehörigen, in Fig. 1 ersichtlichen Linien tritt deutlich hervor. Fig. 4 und 5 zeigen die durch kurze Magnete erzeugten Linien. Im letzteren Falle war der Magnet eine Stahlscheibe von ungefähr einem Zoll Durchmesser und 0,05 Dicke. Fig. 6 zeigt die Erscheinung bei einem in zwei Hälften, die aber nicht von einander getrennt sind, durchbrochenen Magnet. Fig. 7 zeigt die äussere Entfaltung der Linien an den beiden neuen Enden, wenn die Hälften mehr und mehr von einander getrennt werden (3231). Die Figuren 8, 9 und 10 stellen die Erscheinung bei den beiden Hälften oder neuen Magneten in verschiedenen Lagen derselben dar; die Figuren 11, 12, 13 und 14 zeigen sie an Scheibenmagneten. Fig. 15 zeigt den Zustand eines Systems magnetischer Kräfte, das von einem grösseren, ihm entgegengesetzten eingeschlossen ist. Fig. 16 zeigt das Zusammenfliessen der Kraftlinien (3226), wenn die Magnete so aufgestellt sind, dass sie ihre ungleichnamigen Pole einander zukehren.

3239. Fig. 17 zeigt die Kraftlinien rings um einen verticalen Draht, durch den ein elektrischer Strom fliesst. Ob der Draht dick oder dünn ist, scheint hinsichtlich der Intensität der Kräfte keinen Unterschied zu machen, wenn der Strom derselbe bleibt. Fig. 18 stellt die Linien um zwei gleiche Ströme dar, die sich im Bereiche gegenseitiger Beeinflussung befinden. Fig. 19 zeigt die Erscheinung, wenn ein dritter Strom von ent-

gegengesetzter Richtung hinzutritt. Fig. 20 stellt den Uebergang zu einer Spirale von drei Windungen dar. Fig. 21 zeigt die Richtung der Linien innerhalb und an der Aussenseite des Endes einer cylindrischen Spirale auf einer durch ihre Axe gehenden Ebene. Fig. 22 stellt die Erscheinung dar, wenn in der Spirale ein sehr dünner Weicheisenkern liegt.

3240. Die Figuren 23 und 24 geben eine experimentelle Veranschaulichung der Principien, welche ich in Bezug auf den atmosphärischen Magnetismus angenommen habe, und der allgemeinen Ursache der täglichen Variationen u. s. w. (2864, 2917). Eine Halbkugel aus reinem Nickel, die ich von Percy erhielt, wurde so aufgestellt, dass ihre ebene Fläche nach oben gekehrt war; dieselbe war von einem breiten Ringe umgeben, der das Papier hielt, das also auf diesem und dem Nickelkörper ruhte und zur Aufnahme von Eisenfeilspänen bestimmt war, die die entsprechenden Gestalten annehmen konnten. In derselben Horizontalebene lag, zwei Zoll von dem Nickelkörper entfernt, das Ende eines Magnetstabes, und so liessen sich die zu diesem Pole gehörigen Kraftlinien unter verschiedenen Umständen am Orte der Nickelhalbkugel, oder auch wenn sie von dort entfernt war, feststellen. War dieselbe nicht dort, so hatten die Kraftlinien die Gestalt der Fig. 23; Fig. 24 zeigt dieselben für den Fall, dass die Halbkugel sich dort befand. Durch Erwärmung mittelst einer Weingeistlampe liess sich ihre Temperatur so steigern (auf mehr als 600^0 F.), dass sie ihren gewöhnlichen magnetischen Zustand verlor, und dann war die Gestalt der Kraftlinien, wie sie durch Eisenfeilspäne aufgezeichnet werden, dieselbe, wie wenn der Nickelkörper fort war. Bei Entfernung der Lampe konnte ich die Vertheilung der Eisenfeilspäne auf mehreren Papierstücken nacheinander und vier der Fig. 23 gleiche Zeichnungen erhalten, ehe die Temperatur so weit gesunken war, dass die Kraftlinien sich in der Fig. 24 entsprechenden Gestalt bildeten.

3241. Diese Resultate mit dem Nickelkörper sind genau dieselben, welche ich für den Sauerstoff der Atmosphäre angenommen habe. Die Aenderung in der Gestalt der Linien um das erkaltende Nickel ist dieselbe, welche ich für die als Typus angenommene erkaltende Luftkugel dargestellt habe (2865, 2874). Nickel und Sauerstoff sind beide paramagnetische Körper und erleiden durch Erwärmung und Abkühlung eine Aenderung ihres Zustandes *in gleichem Sinne*, und da diese Aenderung des Sauerstoffes oberhalb und unterhalb der gewöhnlichen Temperatur erfolgt (2861), so *müssen* die durch die Atmosphäre gehenden Kraftlinien in einem gewissen Umfang ähnliche Biegungen machen, wie die des sich erwärmenden und erkaltenden Nickels. Man sieht bei den Versuchen mit diesem, dass die Kraftlinien aus diesem Grunde sich im äusseren Raum nicht fortsetzen, ohne von ihrem Laufe abgelenkt zu werden, sondern sich vielmehr in Folge der Vertheilung anderer Linien innerhalb des Nickels hin und her krümmen; und dies muss unabhängig von irgend einer Ansicht über die physikalische

Wirkung der magnetischen Kraft ebenso vom Sauerstoff wie vom Nickel gelten, da der Charakter der magnetischen Kraft ein bestimmter ist, gleichviel ob man sie sich als Wirkungsmittelpunkte oder als Kraftlinien vorstellt.

3242. Ob die Grösse der Ablenkung in der Atmosphäre den von den Beobachtern aufgezeichneten Thatsachen entspricht, ist eine Frage, die, glaube ich, nicht eher beantwortet werden kann, als bis wir den Einfluss sehr niedriger Temperaturen auf die magnetische Kraft der Atmosphäre kennen. Bei dem Versuch mit dem Nickelkörper beträgt die Ablenkung stellenweise 30^0 bis 40^0, in der Natur beträgt die zu erklärende Erscheinung nicht mehr als 13 bis 14 Minuten.

Royal Institution,
20. December 1851.

Ueber die magnetischen Kraftlinien.[1])

Das schöne Kraftsystem, das ein Magnet offenbart und das hauptsächlich von den beiden Enden desselben auszugehen scheint, die daher gemeinhin Magnetpole genannt werden, giebt sich uns gewöhnlich durch die anziehende oder abstossende Wirkung dieser Theile eines Magnets auf entsprechende Theile eines anderen Magnets zu erkennen, und diese Wirkungen haben auch dazu gedient, sowohl die Richtung, in welcher die magnetische Kraft sich äussert, als auch die Grösse der Kraft in verschiedenen Entfernungen zu bestimmen. Dabei kann man die Beobachtung der Anziehung auf einen Magnet oder auf weiches Eisen benutzen, und das daraus gefundene Gesetz für Wirkungen jenseits einer gewissen Entfernung lautet, dass die Kraft sich umgekehrt verhält wie das Quadrat der Entfernung. Für kleine Abstände der auf einander wirkenden Körper gilt dieses Gesetz nicht, also nicht für die Oberfläche des Magnets oder einen Punkt im Innern desselben.

Ich habe eine neue Methode zur Bestimmung der Richtung, Intensität und Grösse dieser Kräfte vorgeschlagen, die sich auf eine von der Aeusserung einer Anziehung oder Abstossung verschiedene Eigenschaft der magnetischen Kräfte gründet. Dieselbe soll die ältere Methode nicht verdrängen, sondern neben ihr gebraucht werden; sie dürfte jedoch von grossem Einfluss auf die fernere Erkenntniss der Natur dieser Kraft sein, insofern als das Wirkungsprincip, obschon es ein anderes ist, dennoch ein nicht weniger magnetisches, nicht weniger strenges ist, und dessen Ergebnisse nicht weniger bestimmt sind, als Anziehung und Abstossung.

Die Bezeichnung *magnetische Kraftlinie* soll nur ein Ausdruck der Richtung der Kraft an einer gegebenen Stelle sein und nicht der einer physikalischen Idee oder Vorstellung der Art, in welcher die Kraft sich

---

[1]) Royal Institution Proceedings, 23. Januar 1852.

daselbst äussert, wie, ob dies Fernwirkungen, ob Pulsationen, ob Wellenbewegungen, ob Ströme oder was sonst seien. Eine magnetische Kraftlinie kann definirt werden als eine Linie, die eine sehr kleine Magnetnadel beschreibt, wenn sie in ihrer Längsrichtung in dem einen oder anderen Sinne so bewegt wird, dass sie beständig eine Tangente zur Bewegungsrichtung bildet; oder als eine Linie, längs welcher in einem queren, in dem einen oder anderen Sinne bewegten Draht keine Tendenz zur Erregung eines elektrischen Stromes vorhanden ist, während eine solche bei der Bewegung des Drahtes in jeder anderen Richtung sich zeigt. Die Richtung dieser Linien in der Umgebung gewöhnlicher Magnete und zwischen denselben lässt sich bekanntlich mittelst Eisenfeilspäne allgemein darstellen.

Die vorgeschlagene Methode zur Erkennung und Bestimmung dieser Kraftlinien besteht darin, die in dem bewegten queren Draht in Bewegung gesetzte Elektricität zu sammeln und zu messen, — ein Verfahren, das seiner Natur und Wirkung nach von dem auf die Anwendung einer Magnetnadel gegründeten gänzlich verschieden ist. Um es mit Vortheil anzuwenden, muss man vorzügliche Leiter haben, und daher bestanden die Zuleitungsdrähte von dem bewegten Drahte zum Galvanometer aus möglichst kurzen Kupferdrähten von 0,2 Zoll Dicke. Das Galvanometer selbst bestand nicht etwa aus vielen hundert Windungen eines dünnen Drahtes, sondern bloss aus einem Draht von etwa 48 bis 50 Zoll Länge wie der eben beschriebene, der in zwei Doppelwindungen um die astatische Nadel angeordnet war, und für genauere Untersuchungen bestand es aus einem Kupferstab von 0,2 Quadratzoll Querschnitt und 20 Zoll Länge. Die Wirkung auf diese Galvanometer erwies sich 30 bis 50 mal grösser als auf solche aus dünnem Draht; so gross ist die Menge der Elektricität, welche beim Durchschneiden der magnetischen Kraftlinien erregt wird; ihre Intensität ist freilich hierbei sehr gering.

Beobachtet man die bereits beschriebenen Kraftlinien mittelst Eisenfeilspäne oder einer Magnetnadel oder auf andere Weise, so sieht man, dass sie von dem einen Ende eines Magnetstabes ausgehen und, nachdem sie den umgebenden Raum in Curven von verschiedener Grösse durchsetzt haben, umkehren und das andere Ende des Magnets erreichen; und da diese Kräfte regelmässig sind, so ist es klar, dass ein Ring, der etwas grösser ist als der Magnet, und den man aus einiger Entfernung gegen den Magnet hinführt und über das eine Ende desselben bis zum Aequator schiebt, hierbei alle äusseren Kraftlinien des Magnets *einmal* geschnitten haben wird. Solche Ringe waren an passend gestaltete, mit dem Galvanometer verbundene Leiter gelöthet, und man beobachtete die Ablenkungen der Nadel bei einer oder zwei oder mehr derartigen Bewegungen oder Durchschneidungen der Kraftlinien. Es zeigte sich, dass bei Anwendung aller Vorsichtsmassregeln und sorgfältiger Beobachtung der Ausschläge am Galvanometer die

Wirkung bei kleineren oder mässig grossen Ausschlägen proportional war der Anzahl von Malen, die die Drahtschleife oder der Ring über den Pol geschoben worden war. Auf diese Weise liess sich nicht bloss erkennen und feststellen, dass die Wirkung auf den die Kraftlinien durchschneidenden Draht eine bestimmte ist, sondern auch ein Magnet mit einem anderen, Drähte von verschiedener Dicke und verschiedener Substanz miteinander vergleichen, und dabei lassen sich die von dem Drahte auf seiner Bahn beschriebenen Flächen variiren. Blieb die Länge, der Durchmesser und die Substanz des Drahtes dieselbe, so war es gleichgültig, wie er die Kraftlinien kreuzte, ob senkrecht oder schief, ob nahe oder weit ab von den Magnetpolen: das Resultat war dasselbe.

Ein zusammengesetzter Magnetstab wurde so aufgestellt, dass er um seine Axe rotiren konnte, und ein breiter kreisförmiger Kupferring in der Mitte oder dem Aequator befestigt, so dass er an dieser Stelle ein cylindrisches Aussehen hatte. An der Innenseite dieses Ringes war ein Kupferdraht befestigt, der zu der Mitte des Magnets und von hier längs der Axe nach einem Ende desselben ging. Ein zweiter Draht, der mittelst eines Federcontactes mit der Aussenseite des Kupferringes in Berührung stand, setzte sich sechs Zoll nach aussen hin fort, kehrte sich dann nach oben und über den oberen Pol nach dem ersten Draht hin und wurde an einem Cylinder befestigt, der von ihm isolirt war, aber sich um ihn bewegen konnte. Dieser Cylinder und der durch ihn gehende Draht wurden mit dem Galvanometer verbunden und schlossen so den Kreis. Dieser Kreis ging jedoch zur Mitte des Magnets herab, dann hier nach aussen und wieder an der Aussenseite zurück, so dass der Magnet bei geschlossenem Kreise ohne den äusseren Theil desselben, oder der Kreis ohne den Magnet, oder beide zusammen rotiren konnten. Rotirte der Magnet und der äussere Draht zusammen als ein in seinen Theilen festes System, so fand keine Wirkung am Galvanometer statt, wie lange man auch die Rotation fortsetzen mochte. Machte der Magnet mit dem inneren Draht vier Umdrehungen im Sinne des Uhrzeigers, während der äussere Leiter in Ruhe blieb, so wurde die Galvanometernadel in der einen Richtung um 35^0 bis 40^0 abgelenkt; blieb der Magnet in Ruhe, während der äussere Draht vier Umdrehungen im Sinne des Uhrzeigers machte, so wurde die Galvanometernadel ebenso stark wie vorher in *entgegengesetzter Richtung* abgelenkt. Auch bei sorgfältigeren Versuchen war die Grösse der Ablenkung bei vier Umdrehungen genau dieselbe, gleichviel ob die Bahn des äusseren Drahtes ganz dicht an dem Magnetpol oder weit ab von demselben lag. Hieraus ergab sich demnach, dass, wenn der Magnet und der Draht in demselben Sinne rotirten, gleich starke aber entgegengesetzt gerichtete elektrische Ströme erregt wurden; dass die an der Aussenseite davon herrührten, dass der äussere Draht die äusseren magnetischen Kraftlinien schnitt; dass die Wirkung dieselbe blieb, wo auch diese Durchschneidung stattfand, und

dass es im Innern des Magnets entsprechende Kraftlinien gab, deren Stärke oder Zahl den äusseren genau gleich, aber entgegengesetzt gerichtet sind; dass in der That jede Kraftlinie eine geschlossene Curve bildet, deren Bahn zum Theil durch den Magnet geht, dem sie zugehört. Die Nähe anderer Magnete änderte die Wirkung nicht, vorausgesetzt dass sie während der Versuche nicht bewegt wurden; es liess sich so mit Sicherheit feststellen, dass solche Magnete die Wirkung des der Untersuchung unterworfenen nicht störten.

In den vorstehenden Fällen änderte sich die Intensität der Kraftlinien, die kleinen Systemen zugehörten, rasch mit der Entfernung von dem Magnet, was als ihre Divergenz bezeichnet werden mag. Die Erde dagegen bietet uns in den Grenzen eines Versuches zu jeder Zeit ein Feld von gleichförmiger Intensität. Die Inclinationsnadel giebt die Richtung oder Polarität dieser Kraft an, und wenn wir in einer zur Inclinationsrichtung senkrechten Ebene operiren, so wird die Anzahl oder der Betrag der Kraftlinien, die bei unseren Versuchen ins Spiel treten, proportional dem Flächenraum unseres Apparates sein. Ich construirte mir daher aus Drähten Parallelogramme von verschiedenem Flächeninhalt, von einem bis neun Quadratfuss oder irgend welcher anderen Grösse, befestigte sie auf Axen, die von zwei der Seiten gleich weit abstanden und senkrecht zur Inclinationsrichtung eingestellt werden konnten, so dass jene dann in Rotation versetzt werden konnten. Mit den Parallelogrammen sowohl als auch mit dem Galvanometer war ein Commutator verbunden derart, dass der obere Theil des rotirenden Drahtes den inducirten Strom stets in gleicher Richtung durch das Galvanometer sandte. So zeigte es sich, dass bei der Rotation ein elektrischer Strom auftrat, dessen Richtung von der Drehungsrichtung abhing; dass die am Galvanometer beobachtete Wirkung bei demselben Viereck proportional war der Anzahl der Umdrehungen; dass bei Vierecken aus demselben Drahte aber von verschiedener Grösse die Wirkung dem Flächeninhalt des Vierecks, d. i. der Anzahl der geschnittenen Curven proportional war etc.

Alle diese und andere Resultate sind in Abhandlungen, die ich der Royal Society übergeben habe, vollständiger aufgeführt und erwiesen worden.[1]) Die sich ergebenden allgemeinen Schlüsse sind, dass mittelst des rotirenden Drahtes sowohl die *Richtung* als auch die *Intensität* der magnetischen Kraftlinien im Innern von Metallen, Eisen oder Magneten, ebenso wie in dem umgebenden Raum erkannt und bestimmt werden können; dass in dem Draht die Summe der Wirkung vieler Linien zur Geltung kommt; dass die Kraftlinien die *Natur*, den *Zustand*, die *Richtung* und den *Betrag* der magnetischen Kräfte darstellen; dass die Wirkung im Verhältniss

---

[1]) Siehe oben S. 298 etc.

zur Anzahl der geschnittenen Kraftlinien steht, gleichviel ob die Durchschneidung gerade oder schief erfolgt; dass sie in einem Felde von gleichförmiger Stärke der *Geschwindigkeit* oder der *Länge* oder der *Masse* des bewegten Drahtes proportional ist; dass die äussere Kraft eines unveränderlichen Magnets eine *bestimmte* ist, doch sich ins Unbegrenzte erstreckt; dass jeder Querschnitt sämmtlicher Kraftlinien jedem anderen gleich ist; dass die Kraftlinien im Innern des Magnets gleich den äusseren sind und dass sie auch mit den äusseren continuirlich zusammenhängen, die Kraftlinien also geschlossene Curven bilden.

Ueber den physikalischen Charakter der magnetischen Kraftlinien.[1])

Vorbemerkung. — Die folgende Abhandlung enthält so Vieles, was speculativer und hypothetischer Natur ist, dass ich sie geeigneter zum Abdruck in dem Philosophical Magazine als in den Philosophical Transactions gehalten habe. Sie steht jedoch in so innigem Zusammenhange mit früheren Untersuchungen und in solcher Abhängigkeit von denselben, dass ich sie in Artikel eintheile, deren Numerirung eine Fortsetzung der früheren bildet. Ich habe daher den Leser darauf aufmerksam zu machen, dass die im Texte vorkommenden Nummern sich hauptsächlich auf bereits in den Philosophical Transactions veröffentlichte oder zur Veröffentlichung bereit liegende Arbeiten beziehen, die zum Verständniss der vorliegenden Abhandlung nicht durchaus nothwendig sind, wenn der Leser nicht etwa tiefer in den Inhalt derselben eindringen will. Die Abhandlung folgt, wie man sieht, auf Reihe XXVIII und XXIX, die nun in den Philosophical Transactions gedruckt werden, und auf deren strengeren Ergebnissen und Schlüssen die experimentelle Stütze der ersteren zum grossen Theil ruht.

3243. Ich habe mich vor Kurzem mit der Beschreibung und Bestimmung der magnetischen Kraftlinien beschäftigt (3070), das sind jene Linien, welche auf eine allgemeine Weise durch die Anordnung von Eisenfeilspänen oder kleinen Magnetnadeln rings um Magnete oder zwischen denselben angedeutet werden, und ich habe, wie ich hoffe, überzeugend dargethan, wie diese Linien als genaue Darstellungen der magnetischen Kraft, sowohl hinsichtlich der Vertheilung, als auch der Grösse derselben angesehen werden können, und wie man sie auf eine von den Angaben einer Magnetnadel principiell verschiedene und in zahlreichen Fällen grosse und eigenthümliche Vortheile darbietende Weise mittelst eines bewegten Drahtes nachweisen kann. Die damals gegebene Definition hatte keine Beziehung zu der physikalischen Natur der Kraft an der Wirkungs-

---

[1]) Philosophical Magazine, Juni 1852.

stelle und ihre genaue Geltung ist daher von dieser, was sie auch sein möge, gänzlich unabhängig. Nun aber, nachdem dies klar gestellt ist, bin ich im Begriff, die strenge Grenze der Schlussfolge eine Weile zu verlassen und in einige speculative Betrachtungen über den physikalischen Charakter der Kraftlinien und die Art, wie sie sich vermuthlich durch den Raum fortsetzen, einzutreten. Zu solchen Speculationen sehen wir uns vielen Naturkräften gegenüber gedrängt, und die Schwerkraft ist in der That die einzige, der gegenüber sie anscheinend ausgeschlossen sind.

3244. Man darf nicht glauben, dass derartige Speculationen im Gebiete der physikalischen Wissenschaften unnütz oder nothwendig schädlich seien. Man muss sie freilich stets als zweifelhaft betrachten, muss daran festhalten, dass sie irrig und dem Wechsel unterworfen sein können, aber im Uebrigen sind sie wundervolle Hilfsmittel in den Händen des Experimentators und Mathematikers. Denn ihr Nutzen besteht nicht bloss darin, dass sie eine vage Vorstellung zunächst zu grösserer Klarheit bringen, ihr gewissermassen eine feste Gestalt verleihen, so dass sie dem Versuch und der Rechnung unterworfen werden kann, sondern sie führen auch auf dem Wege der Deduction und durch Berichtigung zur Entdeckung neuer Erscheinungen, vermehren und fördern so die physikalischen Wahrheiten, welche, nicht wie die Hypothese, die zu ihnen leitet, dem Wechsel unterworfen sind, sondern zu fundamentalen Kenntnissen werden. Wer kennt nicht den merkwürdigen Fortschritt der neueren Zeit in der Erkenntniss der Natur des Lichtes und der Strahlung, und wer weiss nicht, bis zu welchem Grade dieser Fortschritt der Emissions- und Undulationshypothese zu danken ist! Solche Ueberlegungen bilden für mich eine Rechtfertigung, wenn ich mich dann und wann auf Speculationen einlasse. So hoch ich jedoch dieselben schätze, wenn sie mit Bedachtsamkeit angestellt werden, so betrachte ich es doch als ein wesentliches Merkmal eines gesunden Denkens, das Zweifelhafte derselben im Auge zu behalten, ihnen nicht einmal den Werth von Meinungen beizulegen, sondern sie nur als Wahrscheinlichkeiten und Möglichkeiten hinzustellen und zwischen ihnen und den Thatsachen und Naturgesetzen eine breite Grenze zu ziehen.

3245. Bei den zahlreichen Fernwirkungen der Kräfte hat der Physiker allmählich erkannt, dass es keineswegs genügt, sich bei der blossen Thatsache zu beruhigen, und er hat daher seine Aufmerksamkeit auf die Art gelenkt, wie die Kraft sich durch den Raum ausbreitet; und selbst wenn er hierüber nichts Sicheres ermitteln kann, so vermag er doch in manchen Fällen deutliche Unterschiede in den Affectionen der Kraftlinien, wie man es nennen kann, festzustellen und hiermit, auf diese und andere Weise, auch Unterschiede in der Natur der Kraftlinien verschiedenartiger Kräfte, wenn man sie mit einander vergleicht. Daraus ergeben sich dann Unterschiede der Kräfte selbst, denen jene zugehören. So ist beispielsweise bei der Schwere die Kraftlinie, soweit wir aus den resultirenden Erscheinungen

ersehen können, eine Gerade. Sie kann aus ihrer Bahn nicht abgelenkt, noch sonst irgend beeinflusst werden. Auch wird die Wirkung in der einen Linie, weder in der Richtung noch in der Grösse, durch eine gleiche Wirkung in einer anderen Linie irgend beeinflusst, d. h. ein Theilchen, das gegen ein anderes gravitirt, hat genau denselben Kraftbetrag in derselben Richtung, ob es nun allein gegen dieses eine Theilchen oder gegen Myriaden anderer ähnlicher Theilchen gravitirt, und es übt in letzterem Falle auf jedes derselben eine gleiche Kraft aus, wie auf das eine allein. Die Wirkungen können sich natürlich combiniren, aber die Richtung und Grösse der Kraft zwischen irgend zwei Theilchen bleibt ungeändert. So bietet uns die Schwere den einfachsten Fall von Anziehung dar, und da sie keine Beziehung zu haben scheint zu irgend einem physikalischen Process, durch welchen die Kraft der Theilchen zwischen ihnen übertragen wird, so scheint sie ein Beispiel einer reinen Anziehung oder Wirkung in die Ferne zu sein und bildet daher das einfachste Prototyp derartiger Vorgänge. Ich habe nun die Absicht, in eine Betrachtung darüber einzutreten, ob der Magnetismus einen solchen Fall von Wirkung in die Ferne darstellt, oder ob er von der Natur anderer Kräfte ist, deren Mittheilung durch Vorgänge in zwischenliegenden physischen Agentien bedingt ist (3075).

3246. In Bezug auf die Schwere giebt es eine Frage, die, wenn wir ihr beikommen oder sie beantworten könnten, ein helles Licht auf erstere werfen würde. Es ist die Frage, ob die Schwerkraft zu ihrer Wirkung *Zeit* braucht. Wäre es der Fall, so würde dies unwiderleglich beweisen, dass in der Bahn der Kraftlinien ein physisches Agens vorhanden sei. Es scheint ebenso unmöglich, Beweise für als gegen diesen Punkt beizubringen, da wir nicht im Stande sind, die Kraft (die Schwere) aufzuheben, zu verändern oder zu vernichten, oder die Materie, in welcher die Kraft ihren Sitz hat, zu vernichten.

3247. Wenden wir uns zu Strahlungserscheinungen, so haben wir die stärksten Beweise, dass, obschon dabei nichts Ponderables sich ausbreitet, die Kraftlinien dennoch eine von dem strahlenden oder die Strahlen auffangenden Körper gewisse unabhängige physische Existenz haben. Sie können seitlich von ihrer Bahn abweichen und aus einer geraden in eine gebrochene oder gekrümmte Linie übergehen. Sie können in ihrer Natur so geändert werden, dass sie sich um ihre Axe drehen oder an verschiedenen Seiten verschiedene Eigenschaften annehmen. Die Summe ihrer Potenz ist begrenzt, so dass, wenn die Kraft von ihrem Ursprung aus auf eine gegebene Schicht von Theilchen oder in eine gegebene Richtung gelenkt oder gedrängt ist, sie nicht auf andere Theile oder in eine andere Richtung hingelenkt werden kann, ohne in gleichem Verhältniss von der ersteren abgelenkt zu werden. Die Linien stehen nicht in Abhängigkeit von einem zweiten oder reagirenden Körper, wie bei der Schwere, und sie brauchen

Zeit zu ihrer Ausbreitung. In allen diesen Punkten stehen sie in einem ausgesprochenen Gegensatz zu den Linien der Schwerkraft.

3248. Wenden wir uns zu der elektrischen Kraft, so finden wir einen sehr merkwürdigen allgemeinen Zustand, welcher die Mitte hält zwischen den Zuständen in den beiden vorigen Beispielen. Die Kraft (und ihre Linien) verlangt, wie in dem Falle der Schwere, die *Gegenwart* zweier oder mehrerer wirkender Theilchen oder Massen und kann nicht wie das Licht mit einem allein existiren. Allein die beiden Theilchen, welche erforderlich sind, müssen zu einander in einem *antithetischen* Verhältnisse stehen und nicht wie im Falle der Schwere gleichartig sein in Bezug auf die Kraft. Die Kraft ist hier dual, dort war sie einfach. Sie gleicht der Schwerkraft darin, dass zwei oder mehr Theilchen erforderlich sind, während sie ihr darin unähnlich ist, dass sie beschränkt ist. Ein elektrisirtes Theilchen kann ein zweites, drittes und viertes nicht so stark beeinflussen, wie ein erstes; soll es seine Kraft auf das eine ausüben, so muss sie dem anderen im Verhältniss entzogen werden, und diese Beschränkung scheint nothwendig in dem dualen Charakter der Kraft zu liegen; denn die beiden Zustände oder Orte oder Richtungen der Kraft müssen einander gleich sein.

3249. Bei der elektrischen Kraft haben wir einen statischen und einen dynamischen Zustand. Ich gebrauche diese Worte nur zum Zwecke der Unterscheidung, ohne zu behaupten, eine klare Vorstellung von dem physikalischen Zustand zu haben, den sie auszudrücken scheinen. Ob es zwei elektrische Fluida oder nur eines oder überhaupt ein elektrisches Fluidum, oder ob es etwas Derartiges giebt, was man mit Recht einen Strom nennen darf, weiss ich nicht; doch giebt es wohl constatirte elektrische Zustände und Wirkungen, die man im Allgemeinen mit den Worten *statisch*, *dynamisch*, *Strom* bezeichnet, und unter diesem Vorbehalt sind diese gerade so gut wie irgend ein anderes. Die Kraftlinien des *statischen* Zustandes der Elektricität sind bei allen Inductionsvorgängen gegenwärtig. Sie enden an den Oberflächen der der Induction ausgesetzten Leiter oder an den Theilchen von Nichtleitern, die elektrisirt sich in jenem Zustande befinden. Sie können in ihrem Laufe gebeugt (1215, 1230) und durch Körper von verschiedener Inductionscapacität zusammengedrängt oder zerstreut werden (1252, 1277). In diesen Fällen ist es jedoch die dazwischenliegende Materie, welche sie beeinflusst, und es ist nicht gewiss, wie die elektrische Kraftlinie in einem vollkommenen Vacuum existiren würde, d. h. ob sie eine Gerade sein würde, wie man es von der Schwerkraftslinie annimmt, oder derart gekrümmt sein würde, dass sie gewissermassen eine selbstständige physische Existenz zeigte, losgelöst von den die Fernwirkungen der Induction begrenzenden oder die Endigungen derselben bildenden Oberflächen oder Theilchen. Bisher hat man an den elektrostatischen Kraftlinien noch keinen Zustand von *Qualität* oder *Polarität* entdeckt, auch eine Beziehung zur *Zeit* hat bisher nicht festgestellt werden können.

3250. Die Kraftlinien der dynamischen Elektricität sind in ihrer Ausbreitung entweder begrenzt, wie bei der Schwächung durch Entladung oder der Schwächung des Inductionszustandes der statischen Elektricität, oder endlos und continuirlich, wie die geschlossenen Curven eines Volta'schen Kreises. Wiewohl ihre Menge bei gegebener Quelle eine fest bestimmte ist, so können sie doch fast beliebig ausgeweitet, zusammengezogen und abgelenkt werden, je nach der Natur und Ausdehnung der Media, durch welche sie gehen, und zu denen sie eine directe Beziehung haben. Es ist wahrscheinlich, dass dabei die Gegenwart von Materie immer nothwendig ist, aber man kann am Ende den hypothetischen Aether hier ebenso gut als anderswo annehmen. Einen Zustand von Qualität oder Polarität hat man bisher an ihnen nicht wahrgenommen. Was die *Zeit* betrifft, so hat man gefunden, dass bei der Entladung einer Leydener Flasche selbst durch die besten Leiter Zeit erforderlich ist; in der That hat man Grund zu glauben, dass sie hier ebenso nothwendig ist, wie in den Vorgängen, welche durch schlecht leitende Media bedingt sind, wie beispielsweise beim Blitz.

3251. Man kann also hinsichtlich der Kraftäusserungen in die Ferne wenigstens drei grosse Unterschiede feststellen. Von der Schwerkraft nehmen wir nicht an, dass ihre Fortpflanzung durch den Raum durch physische Linien erfolgt; die Strahlung dagegen pflanzt sich in dieser Weise fort, die sich ausbreitende Linie oder der Strahl hat, wenn er einmal da ist, eine entweder von seinem Ursprungsorte oder seiner Endigung unabhängige Existenz; der Fortpflanzungsvorgang der Elektricität endlich hat ebenfalls eine intermediäre Existenz, wie ein Strahl, aber er ist gleichzeitig von beiden Enden der Kraftlinie oder von Zuständen, die (wie bei der geschlossenen Volta'schen Säule) solchen Enden äquivalent sind, abhängig. Was die magnetischen Wirkungen in die Ferne betrifft, so sind sie vielleicht unähnlich allen diesen Kraftäusserungen; denn wer kann sagen, dass wir alle die physischen Wege oder Formen kennen, unter denen eine Kraft mitgetheilt wird? Indess stellen Manche den Magnetismus der Gravitation zur Seite und halten ihn für eine reine Fernkraft, während Andere meinen, dass man ihn sich besser unter dem Begriff einer Kraftströmung vorstellt. Die Frage scheint darauf hinauszulaufen, ob die magnetischen Kraftlinien eine physische Existenz haben oder nicht, und wenn Ersteres der Fall ist, ob eine solche physische Existenz statischer oder dynamischer Art sei (3075, 3156, 3172, 3173).

3252. Die *Qualitäten* der magnetischen Kraftlinien hat man bisher nicht verändern können, d. h. man hat keinerlei Analogon mit der Polarisation eines Licht- oder Wärmestrahls an ihnen wahrzunehmen vermocht. Wohl ist eine Beziehung zwischen ihnen und polarisirten Lichtstrahlen entdeckt worden (2146)[1]), allein sie ist nicht derart, dass man darin einen Beweis für oder gegen eine selbstständige Existenz der magnetischen Kraftlinien hätte,

---

[1]) Philosophical Transactions, 1846, p. 1.

wiewohl ich glaube, dass die Thatsachen für dieselbe sprechen. Die Frage ist eine offene und sehr wichtige.

3253. Eine Beziehung der magnetischen Kraftlinien zur *Zeit* ist bisher nicht aufgefunden worden. Es ist wohl bekannt, dass Eisen *Zeit* braucht, um magnetisirt zu werden. Plücker behauptet dasselbe in Bezug auf Wismuth, allein ich habe keinen Beweis dafür zu erlangen vermocht. Wäre es der Fall, so müsste der äthererfüllte, sonst leere Raum sich ähnlich verhalten, denn er steht in der Mitte zwischen Wismuth und Eisen (2787), und ein derartiges Resultat würde stark zu Gunsten einer selbstständigen physischen Existenz der magnetischen Kraftlinien sprechen. Allein unsere bisherigen Ergebnisse sind keineswegs geeignet, die die *Zeit* betreffende Frage zu entscheiden, aber wohl würden sie, wenn dieser Punkt bewiesen wäre, hierin sehr wahrscheinlich ihre Erklärung finden. Es darf hervorgehoben werden, dass auch bei den Vorgängen in dem bewegten Draht oder Leiter (125, 3076) Zeit erforderlich ist.[1]) Es erscheint hoffnungslos, die Untersuchung nach einer der Methoden, die wir beim Licht oder bei dem Entladungsstrom einer Leydener Flasche anwenden, anzufassen, allein schon die Aufstellung des Problems kann dazu beitragen, uns der Lösung desselben entgegenzuführen.

3254. Könnte man beweisen, dass bei den magnetischen Kraftlinien eine Wirkung in *krummen* Linien oder Richtungen existirt, so würde hiermit auch die physische Existenz derselben ausserhalb des Magnets, dem sie zugehören, bewiesen sein, gerade so wie derselbe Beweis auf die elektrostatische Induction anwendbar ist.[2]) Allein die blosse Vertheilung der Linien, wie sie durch Eisentheilchen sichtbar gemacht wird, kann nicht zum Beweise einer solchen Krümmung dienen, weil sie durch die Gegenwart dieser Theilchen selbst und ihre Wirkung auf einander und den Magnet bedingt sein kann; und es ist möglich, dass Anziehungen und Abstossungen in geraden Linien dieselbe Anordnung hervorbringen können. Daher erscheinen die mit dem bewegten Drahte erhaltenen Resultate (3076, 3176)[3]) geeigneter, Data zur Aufhellung dieses Punktes zu liefern, wenn man diese Versuche ausdehnt, und die wahre magnetische Beziehung des bewegten Drahtes zu dem Raume, welchen er einnimmt, völlig feststellt.

3255. Der *Betrag* der magnetischen Kraftlinien oder der Kraft, welche sie darstellen, ist zweifellos begrenzt, dieselbe ist daher in dieser Hinsicht der Schwerkraft ganz unähnlich (3245), und dies gilt auch dann, wenn wir uns vorstellen müssen, dass die Kraft eines Magnets sich in unbegrenzte Fernen erstreckt. Diese Begrenzung des Kraftbetrages scheint in engem Zusammenhange mit der dualen Natur der Kraft zu stehen, und eine wei-

---

[1]) Experimental-Untersuchungen II, p. 172, 175.

[2]) Philosophical Transactions, 1838, p. 16. [Experimental-Untersuchungen, vol. I, p. 343.]

[3]) Ibid. 1852.

tere Folge davon ist, dass sie von einem Gegenstande fort auf einen anderen hingelenkt werden kann, was bei der Schwerkraft durchaus nicht vorkommt. Man kann die Richtung der von einem Ende oder Pole eines Magnets ausgehenden Kraftlinien an irgend einer Stelle fast beliebig ändern (3238), trotzdem die entfernteren Theile unverändert an ihrem ursprünglichen Orte bleiben. Denn dadurch, dass man neue Endigungen für die Kraft einführt, kann eine neue Vertheilung derselben stattfinden; allein obschon man bewirken kann, dass dieselben die äussere Kraft ganz oder zum Theil auffangen und so deren Richtung ändern, so wird doch hierdurch keine Aenderung in dem Betrage der Kraft herbeigeführt. Dies ist das Resultat strenger Versuche, die neu eingeführten Körper mögen weiches Eisen oder Magnete sein (3218, 3223).[1]) In dieser Hinsicht stimmen demnach magnetische und elektrische Kraftlinien überein. Dies sind die deutlichen Ergebnisse einiger neueren Versuche über den Einfluss des Eisens, wenn es an einer Schleife von Kupferdraht im magnetischen Felde eines Hufeisenmagnets hingeführt wurde (3129, 3130), und über die Wirkung von Eisen und Magneten auf einander (3218, 3223).

3256. Sicherlich reichen wohl die experimentellen Data zu einer vollständigen Vergleichung der verschiedenen Kraftlinien noch nicht aus. Sie gestatten noch keinen sicheren Schluss, ob die magnetischen Kraftlinien denen der Gravitation, also einer Fernkraft, analog sind, oder ob sie eine physische Existenz haben und ihrer Natur nach mehr denen der elektrischen Induction oder des elektrischen Stromes gleichen. Ich neige gegenwärtig mehr zu der letzteren Ansicht als zu der ersteren und will zu einigen Betrachtungen über diese Frage übergehen, mit der Absicht, den Gegenstand künftig weiter aufzuhellen.

3257. Wenn ich recht unterrichtet bin, so ist der mathematische Ausdruck für die Gesetze der magnetischen Fernwirkung derselbe wie der für die Gesetze der elektrostatischen Wirkungen, und man meinte wohl, dass die Annahme von Nord- und Südmagnetismus, die man sich über die Pole oder die Enden eines Magnets verbreitet denkt, alle äusseren Wirkungen desselben auf andere Magnete oder sonstige Körper erklären könne. Sowohl die statische als auch die dynamische oder irgend eine ähnliche Auffassung muss die äussere Wirkung der magnetischen Kräfte an den Polen oder Enden des Magnets als eine wesentliche Eigenschaft betrachten. Können diese Kräfte bei einem Magnetstabe existiren ohne eine gegenseitige Beziehung beider Magnetismen zu einander oder zu entgegengesetzten, gleich grossen magnetischen Kräften, die anderen Quellen entspringen? Ich glaube nicht, dass dies möglich sei, da ich in neueren Untersuchungen gezeigt habe, dass die Summe der Kraftlinien in jedem Querschnitt derselben ausser-

---

[1]) Philosophical Transactions, 1852.

halb des Magnets und zwischen den Polen gleich ist (3109). Ueberdies giebt es viele andere experimentelle Thatsachen, welche die Beziehung und den Zusammenhang der Kräfte an den beiden Polen mit einander erweisen[1]); und dies ist auch analog der elektrostatischen Induction, wo die eine Elektricität nicht existiren kann ohne Beziehung zu und ohne Abhängigkeit von einer gleichen Menge der anderen. Jede duale Kraft scheint diesem Gesetze nothwendig unterworfen zu sein. Könnten die entgegengesetzten magnetischen Kräfte unabhängig von einander bestehen, so ist klar, dass es möglich wäre, dass ein Körper nur mit der *einen Art* von Magnetismus behaftet wäre; allein alle bekannten Versuche und Erfahrungen sprechen gegen eine solche Möglichkeit.

3258. Nimmt man aber diese Beziehung, welche die Polarität ausmacht, als nothwendig existirend an, wie kommt sie bei einem einzelnen, im freien Raume gelegenen Magnetstabe zur Geltung, oder wie ist sie möglich? Mir scheint, dass die äusseren Kräfte an den Polen nur durch *gekrümmte* Kraftlinien durch den umgebenden Raum in Beziehung zu einander stehen können, und ich kann krumme Kraftlinien nicht denken ohne eine Art physischen Daseins in dem Zwischenraume. Ihr Dasein beruht nicht auf einer Folge von Theilchen, wie es bei der elektrostatischen Induction der Fall ist (1215, 1231), sondern auf dem Zustande des von solchen materiellen Theilchen freien Raumes. Ein Magnet in einem Vacuum, das so vollkommen ist, als wir es zu erreichen vermögen, gleichviel ob der Raum vorher von paramagnetischen oder diamagnetischen Körpern erfüllt war, wirkt auf eine Nadel ebenso gut, als wenn er von Luft, Wasser oder Glas umgeben ist, und daher existiren diese Linien in einem solchen Vacuum ebenso gut als dort, wo Materie ist.

3259. Man kann am Ende sagen, dass wir einen Beweis für das Dasein von magnetischen Kraftlinien ausserhalb eines Magnets nur durch die Gegenwart anderer Körper erlangen, wie beispielsweise einer Magnetnadel, weichen Eisens, eines bewegten Drahtes oder eines Wismuthkrystalls; dass diese Körper erst die Linien hervorrufen und zur Entfaltung bringen, ebenso wie man bei der Schwerkraft nicht von einer Schwerkraftslinie eines materiellen Theilchens an und für sich reden kann, sondern sie sich nur in Verbindung mit einem zweiten Theilchen vorzustellen vermag. Indessen haben wir es doch hier mit einer dualen Kraft zu thun, und wir wissen, dass wir weder durch magnetische Induction auf weiches Eisen noch durch elektrische Ströme, noch sonstwie den einen Magnetismus ohne den anderen hervorzurufen vermögen. Nehmen wir daher an, ein Stab von weichem Eisen oder ein anderer Magnetstab, dessen Ende dem Ende des ersten

---

[1]) Eine Menge von Beispielen hierfür liefert die Art, wie ein grosser kräftiger Magnet den Magnetismus eines kleineren stört, überwältigt und sogar umkehrt, wenn er diesem in verschiedenen Richtungen genähert wird, ohne ihn zu berühren.

Magnets genähert werde, bringe durch diese Annäherung die äussere Kraft zur Entfaltung, so wird diese Kraft, so zu einer äusseren geworden, entweder eine entsprechende äussere Kraft entgegengesetzter Art an dem gegenüberliegenden Ende hervorbringen oder nicht. Im ersteren Falle wird die Folge sein die Entfaltung von Kraftlinien von gleichem Betrage wie die *im Innern* des Magnets. Allein wir wissen, glaube ich, nunmehr, dass in einem sehr harten und vollkommenen Magnet keine derartige Aenderung vor sich geht (3223). Die Mengen der äusseren und inneren Kraftlinien bleiben dieselben, gleichviel ob der zweite Magnet oder das weiche Eisen da ist oder nicht; was sich ändert, ist nur die *Vertheilung* der äusseren Linien, ihre Summe und demnach ihre Existenz bleibt dieselbe. Im zweiten Falle müsste der der Induction ausgesetzte Magnet, wenn er in der Mitte durchbrochen würde, eine absolute magnetische Ladung an seinen Bruchstücken aufweisen, das heisst er dürfte sich nur mit einerlei Magnetismus behaftet zeigen (3257, 3261).

3260. Oder wenn wir uns einen Augenblick vorstellen, dass die beiden Polaritäten des Magnetstabes zwar in Beziehung zu einander stehen, diese Beziehung aber, wenn kein äusserer Gegenstand da ist, auf den er wirkt, durch den Magnet selbst vermittelt wird (eine Vorstellung, die nach den experimentellen Nachweisen, dass die Linien geschlossene Curven bilden, sehr schwer zu fassen ist (3117, 3230)), so würde doch folgen, dass, wenn die Kräfte nach aussen gerichtet werden, der Betrag derselben sowohl im Innern als ausserhalb des Magnets eine Aenderung erleiden würde. Wir sind jedoch jetzt im Stande, diese beiden Theilgrössen der Kraft zu ermitteln, und es scheint, dass bei einem guten Magnet, er mag für sich sein oder unter dem Einfluss weichen Eisens oder anderer Magnete von vierfacher Stärke stehen, die Summe der Kräfte ausserhalb (3223) und mithin auch innerhalb (3117, 3121) des Magnets dieselbe bleibt.

3261. Betrachtete man die Nord- und Südpolarität als so weit von einander unabhängig, dass man sie zwei über die Enden des Magnets verbreiteten Fluidis vergleichen kann (wie die beiden Elektricitäten auf einem polarisirten Leiter), so müsste, wenn man den Magnet in der Mitte durchbricht, die eine Hälfte absoluten Nord-, die andere ausschliesslichen Südcharakter zeigen und es brauchte nicht jede gleich starken Nord- und Südmagnetismus nach aussen kundzugeben. Allein so ist die Sache nimmer. Sieht man es als eine Nothwendigkeit an, dass das neue Bruchstück zwei neue Pole von gleicher Stärke, aber entgegengesetzter Art zeige (wie es thatsächlich der Fall ist), so gilt dieselbe Nothwendigkeit auch für die Abhängigkeit und Beziehung der ursprünglichen Pole des ursprünglichen Magnets, gleichviel welches oder wo die erste Quelle der Kraft sein mag. In diesem Falle ergiebt sich jedoch hieraus als nothwendige Folge, dass zwischen den Polen des ursprünglichen Magnets *krumme Kraftlinien* existiren und die Krümmung dieser Linien scheint mir ihre physische Existenz anzudeuten.

3262. Wenn man annimmt, dass die magnetischen Pole eines Stabmagnets eine Art von Kraft nach innen, nach rückwärts äussern, wie wenn sie sowohl für das Innere als auch ausserhalb des Magnets Kraftmittelpunkte wären und hierdurch eben bei der Durchbrechung des Magnets die entgegengesetzten Pole und deren Wirksamkeit zu erregen vermöchten, so kann dieser Bruchtheil der Kraft nicht identisch sein mit dem, der sich gleichzeitig ausserhalb des Magnets äussert; und wenn er nicht derselbe, so müssten die beiden Hälften entweder Nord- oder Südmagnetismus von gewisser Stärke haben, dürften aber nicht fertige Magnete mit gleich starken Polen sein. Thatsächlich aber sind sie es, und wenn wir auch einen *harten Magnet*, während er der Wirkung eines anderen kräftigen Magnets ausgesetzt ist, der eine sehr beträchtliche Störung auf die Kräfte ausüben muss, *in zwei Hälften durchbrechen*, so sind diese doch zwei vollständige Magnete von gleich starken Polen, gerade so wie wenn der starke Magnet nicht da wäre. Die Stärke der früheren Pole hat weder zu- noch abgenommen, sondern bleibt ebenso ungeändert wie ihr Vorzeichen.

3263. Kehren wir nun zurück zu dem Beispiel eines harten, gut hergestellten und gut magnetisirten geraden Magnetstabes, der bloss unter dem Einfluss seiner eigenen Kräfte steht, so scheint es mir, dass wir entweder die gemeinsame äussere Beziehung der Pole leugnen und annehmen müssen, dass sie keine gegenseitige Wirkung auf einander oder ein Bestreben hierzu haben, oder zugeben, dass eine solche Wirkung in *krummen* Linien oder durch diese vermittelt ausgeübt wird. Eine solche Wirkung leugnen, hiesse zwischen der Wirkung des Nordendes eines Magnetstabes auf sein Südende und der auf das Südende anderer Magnete einen Unterschied machen, was gegenüber all den älteren und den neuen Versuchen mit dem bewegten Draht (3076) unmöglich zugegeben werden dürfte. Die Anerkennung, dass die Wirkung in krummen Linien erfolgt, scheint mir gleichzeitig auch die zu enthalten, dass die Linien eine physische Existenz haben. Dieselbe mag in einer Schwingung des hypothetischen Aethers oder in einem einem dynamischen oder statischen Zustande äquivalenten Spannungszustande desselben bestehen; oder es mag irgend ein *anderer Zustand* sein, der zwar schwer zu fassen, aber ebenso verschieden ist von der vermeintlichen Nichtexistenz der Schwerkraftlinie, als von der unabhängigen und gesonderten Existenz der Linie der Strahlungskraft (3251).[1]) Doch scheint die Existenz des Zustandes mir keine blosse Hypothese zu sein, sondern sich in gewissem Grade als Consequenz des bekannten Zustandes der betreffenden Kraft und der davon bedingten Erscheinungen zu ergeben.

3264. Ich habe mich in den vorstehenden Betrachtungen nicht auf

---

[1]) Siehe Euler's Ansichten über die Vertheilung der magnetischen Kraft, des magnetischen Fluidums oder Aethers und seiner Strömungen. Briefe, vol. II, Nr. 62 u. 63.

die Ansicht berufen, die ich vor Kurzem, auf experimentelle Thatsachen gestützt, vorgebracht habe, dass die Kraftlinien, die wir schlechthin als Repräsentanten der magnetischen Kraft ansehen können, geschlossene Curven sind (3117), die in einem Theil ihres Verlaufes durch den Magnet und in dem anderen durch den umgebenden Raum gehen. Diese Linien sind nach ihrer Natur, ihren Qualitäten und ihrer Menge innerhalb und ausserhalb des Magnets identisch. Wenn wir mit diesen Linien, wie sie früher definirt worden sind (3071), die Vorstellung der physischen Existenz verknüpfen und nunmehr solche Fälle wie die eben erwähnten, auf die diese Vorstellung passt, von Neuem betrachten, so wird man sogleich sehen, dass die Wahrscheinlichkeit für die Gekrümmtheit der äusseren Linien und somit für deren physische Existenz ebenso gross, ja grösser ist als zuvor. Denn nun liesse sich keine rückwärts gehende Wirkung in dem Magnet voraussetzen, und die äussere Beziehung und Abhängigkeit der Polaritäten (3257, 3263) würde womöglich noch nothwendiger erscheinen als vorher. Unter diesem Gesichtspunkte würde die magnetische Kraft in unserer Vorstellung, wenn auch nicht nothwendig, eine dynamische Form annehmen; ihre innige Beziehung zur dynamischen Elektricität ist ja bekannt (3265). Dies will ich nun untersuchen; aber bevor ich es thue, will ich einen Augenblick nochmals die elektrostatische Induction betrachten, als ein Beispiel einer Zweiheit von Kräften, die durch krumme Kraftlinien in gegenseitiger Abhängigkeit von einander stehen, doch so, dass diese Linien ein Ende haben und keine geschlossenen Curven bilden. Ein solches Beispiel liefert ein durch Induction polarisirter elektrischer Leiter, oder eine isolirte, offene, geradlinige Volta'sche Batterie und sie gleicht in der Vertheilung der äusseren Kraftlinien einem Magnet. Allein das, was den Vorgang (insofern Induction in Betracht kommt) unterhält und bedingt ist von der nothwendigen Beziehung der entgegengesetzten dualen Zustände der Kraft, liegt ausserhalb des Leiters oder der Batterie, und in einem solchen Falle zeigt sich, wenn man den Leiter oder die Batterie in der Mitte durchtrennt, hier keine Ladung und kein Ausgangspunkt neuer Linien von Inductionskraft. Dies ist ohne Zweifel eine Folge davon, dass die Linien der statischen Inductionskraft sich nicht nach innen fortsetzen, und gleichzeitig ein Grund, weshalb die beiden getrennten Theile in entgegengesetzten Zuständen oder absolut geladen zurückbleiben. In dem Magnet *bringt* eine solche Durchtrennung neue äussere Kraftlinien zur Erscheinung; und da dieselben an Menge gleich denen sind, die von den ursprünglichen Polen ausgehen, so zeigt dies, dass die Kraftlinien sich durch den Magnet selbst fortsetzen und diese Continuität ist der nothwendige Grund, weshalb die beiden Hälften nicht mit absolutem Magnetismus, also nicht mit Nordmagnetismus allein oder mit Südmagnetismus allein behaftet erscheinen.

3265. Die wohlbekannte Beziehung zwischen den elektrischen und magnetischen Kräften lässt sich folgendermassen darstellen. Mögen diese

durch zwei Ringe in zu einander rechtwinkligen Ebenen, wie in Fig. 1 der Tafel IV, vorgestellt sein. Wird durch den Ring E ein elektrischer Strom in Richtung des Pfeils gesandt, so werden magnetische Kraftlinien auftreten, deren Polarität den Angaben einer Magnetnadel, die man sich bei NS oder an einer anderen Stelle des Ringes M denken mag, entspricht. Da diese Ringe die elektrodynamischen, beziehentlich die magnetischen Kraftlinien vorstellen, so können sie als Norm zu einer Vergleichung dienen. Ich habe an einer früheren Stelle den elektrischen Strom oder die Linie elektrodynamischer Kraft als „eine Kraftaxe mit genau gleich grossen, aber entgegengesetzt gerichteten Kräften“ bezeichnet (517). Auf die magnetische Kraftlinie lassen sich *ganz dieselben Ausdrücke* anwenden, und diese beiden Kraftaxen, als gerade Linien betrachtet, sind senkrecht zu einander; zur Bestimmung ihrer Richtung gegen einander hat man noch hinzuzufügen, dass sie durch eine zu beiden senkrechte Linie getrennt sind. Auf den elektrischen Strom angewandt, haben obige Bezeichnungen einen präcisen Sinn und sagen aus, dass die Kräfte *von Natur entgegengesetzt* sind und nicht deshalb, *weil* sie entgegengesetzte Richtung haben. Die Umdrehung der einen von einem Ende zum anderen würde sie keineswegs der anderen gleich machen, eine Erwägung, die für diejenigen Werth haben mag, welche zwei elektrische Fluida annehmen und sich zu entscheiden bemühen, ob es eine oder zwei Elektricitäten giebt.

3266. Eine Vergleichung dieser beiden Kraftaxen ergiebt merkwürdige Analogien, namentlich hinsichtlich ihrer zu einander rechtwinkligen Lage. Ampère[1]) und Davy[2]) haben die physikalische Thatsache festgestellt, dass ein elektrischer Strom das Bestreben hat, sich zu verlängern, so dass dies als ein charakteristisches Merkmal für die *elektrische* Kraftaxe gelten kann. Wenn dagegen eine freie Magnetnadel in der Nähe des Endes eines Magnetstabes zuerst gegen ihn pointirt und sich ihm dann zu nähern sucht, so erblicke ich in diesem Vorgang ein Merkmal entgegengesetzter Art für die *magnetische* Kraftaxe; denn die magnetischen Kraftlinien, welche meinen neulichen Untersuchungen gemäss dem Magnet und der Nadel gemeinsam sind (3230), verkürzen sich, erstlich bei der Bewegung, welche die Nadel ausführt, um sich einzustellen, und ferner bei ihrer Annäherung an den Magnet. Ich glaube sagen zu dürfen, dass alle übrigen Wirkungen eines Magnets auf Magnete oder auf weiches Eisen oder auf andere paramagnetische und diamagnetische Körper mit diesem Vorgang und diesen Schlussfolgerungen im Einklang sind.

3267. Ferner, gleichgerichtete elektrische Ströme oder Kraftlinien oder Kraftaxen, die sich neben einander befinden, ziehen sich an. Dies ist wohl bekannt und zeigt sich deutlich, wenn Drähte, durch die solche Ströme geleitet

---

[1]) Annales de Chimie, 1852, vol. XXI, p. 47.
[2]) Philosophical Transactions, 1823, p. 153.

werden, einander parallel liegen. Dagegen stossen gleichgerichtete magnetische Kraftaxen oder Kraftlinien sich ab; der dem Parallelismus elektrischer Ströme analoge Fall ist realisirt, wenn zwei Magnetnadeln mit ihren gleichnamigen Polen in derselben Richtung sich neben einander befinden, und durch Eisenfeilspäne lassen sich zahlreiche Abbildungen (3234) desselben allgemeinen Resultates erhalten.

3268. Diese Vorgänge sind jedoch nicht bloss *Gegensätze,* die sich in zweierlei oder mehrerlei verschiedenem Verhalten zeigen, sondern es sind Gegensätze, welche *zusammenfallen,* wenn man die zu einander rechtwinklige Lage der beiden Kraftaxen betrachtet (1659, 3265). Das Bestreben des elektrischen Stromes, sich zu *verlängern,* und das Bestreben zu einer *seitlichen* Trennung der den Strom umgebenden magnetischen Kraftlinien sind beides Bestrebungen in derselben Richtung, obschon sie wie Gegensätze aussehen, wenn man nicht zugleich die Beziehung der gegenseitigen Lage der beiden Kraftaxen betrachtet; und dies nebst anderen alsbald zu erwähnenden Betrachtungen weist wahrscheinlich auf die innige physikalische Beziehung und am Ende auf die Einheit dessen, was uns als zwei Kräfte oder Kraftformen erscheint, als elektrische und als magnetische. In diesem Falle werden viele andere Beziehungen, wie die folgenden deren einige sind, zu einem und demselben Resultat verschmelzen. So stossen ungleichartige gegen einander gekehrte magnetische Linien einander ab, wie wenn gleichnamige Pole einander zugekehrt sind, und entgegengesetzt gerichtete elektrische Ströme hemmen sich gegenseitig oder stossen bei gesteigerter Intensität, statisch genommen, einander ab. Gleichgerichtete elektrische Ströme oder gegen einander gekehrte Kraftlinien verschmelzen mit einander, gleichgerichtete magnetische Kraftlinien in ähnlicher Lage thun dasselbe (3266, 3295). Hintereinander laufende gleichartige elektrische Ströme summiren sich nicht; es findet keine Aenderung in der Quantität statt, aber wohl wächst die Intensität. Gleichartige magnetische Kraftlinien in ähnlicher Lage verstärken sich nicht, sondern der Magnetismus bleibt derselbe (3218); vielleicht ist aber doch eine dem Zuwachs an Intensität in dem vorhergehenden Falle entsprechende Wirkung vorhanden, allein bisher hat sich noch keine deutlich erkennen lassen. Gleichartige elektrische Ströme, neben einander geschaltet, summiren sich ihrer Quantität nach; dieser Fall ergiebt sich, wenn man mehrere Batterien mit ihren gleichnamigen Enden verbindet oder indem man eine grosse Batterie mit einer kleinen vergleicht. Gleichartige magnetische Kraftlinien thun dasselbe (3232).

3269. Die gegenseitige Beziehung zwischen den magnetischen Kraftlinien und der elektrischen Kraftaxe hat man seit den Zeiten Oersted's und Ampère's stets erkannt, und diese nebst Betrachtungen wie die oben vorgebrachten setzen uns in den Stand, über die Natur der magnetischen Kraftlinien eine Vermuthung oder ein Urtheil mit einem gewissen Grade von Wahrscheinlichkeit auszusprechen. Ich neige zu der Ansicht, dass sie

wie die ihnen analogen elektrischen Linien eine physische Existenz haben, und diese Vorstellung führt mich zu der Ueberlegung, ob es wahrscheinlich sei, dass sie einen dynamischen Zustand haben, analog dem der elektrischen Axe, zu welcher sie in so inniger und vielleicht unausweichlicher Beziehung stehen, in welchem Falle man zu der Vorstellung von magnetischen Strömen gelangen würde, oder ob sie in einem Spannungszustande (des Aethers?) rings um die elektrische Axe bestehen und daher als von statischer Natur anzusehen seien. Wieder und wieder drängt sich mir die Idee eines *elektrotonischen Zustandes* (60, 1114, 1661, 1729, 1733) auf; ein solcher Zustand würde zusammenfallen und identisch sein mit dem, welcher die physischen magnetischen Kraftlinien ausmachen würde. Noch eine andere Betrachtung macht sich in demselben Sinne geltend. Ich bemerkte früher, dass man das magnetische Analogon zur *statischen* Elektricität nicht kennt; denn wenn der unentwickelte Zustand elektrischer Kraft dem gleich unentwickelten Zustand magnetischer Kraft, und der elektrische Strom oder die elektrische Kraftaxe den magnetischen Kraftlinien oder der magnetischen Kraftaxe entspricht, so giebt es keinen bekannten magnetischen Zustand, welcher dem Zustande der elektrostatischen Kraft entspricht (1734). Nehmen wir nun an, dass die physischen magnetischen Kraftlinien Ströme sind, so ist es sehr unwahrscheinlich, dass ein solches natürliches Band nicht vorhanden sein sollte, noch unwahrscheinlicher, glaube ich, als dass der magnetische Zustand auf einem Spannungszustande beruhe, um so mehr namentlich als unter der letzteren Annahme die magnetischen Kraftlinien ebenso sicher eine physische Existenz haben müssten als unter der früheren, und die Krümmung der Linien, die man doch nach den natürlichen Erfahrungen zugeben muss, möglich würde.

3270. Die Betrachtungen, welche sich aus der Beobachtung der Erscheinungen und Gesetze ergeben, die sich in der gegenseitigen Wirkung von Magneten, elektrischen Strömen und *bewegten Leitern* (3084 etc.) offenbaren, sprechen, glaube ich, allesammt zu Gunsten der physischen Existenz der magnetischen Kraftlinien. Wenn man in diesen Fällen bloss einen Magnet, aber kein Eisen oder paramagnetische Körper anwendet, so zeigt sich weder Anziehung noch Abstossung noch sonst eine gewöhnliche magnetische Wirkung. Man kann die Erscheinungen sämmtlich sehr gut als rein elektrische ansehen, denn sie haben alle diesen Charakter, und wenn sie mit magnetischen Wirkungen zusammenfallen (was ohne Zweifel der Fall ist), so ist dies wahrscheinlich eben deshalb, weil beide Wirkungen eins sind. Sieht man sie aber als elektrische Wirkungen an, so erwecken sie eine andere Vorstellung von dem Zustande des Feldes, in dem sie auftreten, als die Idee einer magnetischen Fernwirkung gewährt. Wenn ein Kupferdraht sich in der Nähe eines Magnetstabes befindet, so stört er, soviel wir (aus dem Verhalten einer Magnetnadel oder durch andere Beobachtungsmittel) wissen, nicht im mindesten die Vertheilung der magnetischen Kräfte

in ihm selbst noch in dem umgebenden Raum. Wird er quer zu den magnetischen Kraftlinien bewegt, so entsteht ein elektrischer Strom in ihm oder sucht zu entstehen, und wir haben allen Grund anzunehmen, dass, wenn wir einen vollkommenen Leiter anwenden könnten und somit das Resultat ein vollkommenes wäre, wir hierin das vollständige Aequivalent zu der elektrischen oder magnetischen Kraft finden würden, welche sich an dem von dem Leiter eingenommenen Orte äussert. Allein, wie ich an einer früheren Stelle bemerkt habe (3172), kann man kaum annehmen, dass dieser Strom, der das vollständige Aequivalent zu der magnetischen Kraft ist, in dem blossen Act der Bewegung seine ganze Entstehungsursache habe. Die äussere Bewegung eines sonst physikalisch indifferenten Körpers, der keine Beziehung zum Magnet hat, könnte eine physikalische Beziehung, wie sie der Draht aufweist, nicht in die Erscheinung rufen. Es muss meiner Meinung nach, was den Draht anbetrifft, vorher ein Zustand existiren, ein Spannungs- oder statischer Zustand, aus dem beim Hinzutreten von Bewegung der dynamische Zustand oder das Strömen der Elektricität hervorgeht. Dieser Zustand reicht aus, eine physische Existenz der magnetischen Kraftlinien zu constituiren und deren gekrümmte Gestalt oder ihre äquivalente äussere Beziehung zu Polen und die verschiedenen anderen Zustände zu erklären, welche mir mit einer blossen Fernwirkung unvereinbar erscheinen, und die doch unter den magnetischen Erscheinungen existiren.

3271. Alle Erscheinungen an dem bewegten Draht scheinen mir auf die physische Existenz einer Kraftatmosphäre um den Magnet hinzuweisen, welche, da die Kraft antithetisch ist und da deren Richtung durch magnetische Kraftlinien angedeutet ist, als in Sphondyloiden, die durch die Linien begrenzt sind, oder vielmehr in Kraftröhren[1]) angeordnet angesehen werden können. Schneidet der Draht die Linien in einem gegebenen ausserhalb des Magnets liegenden Sphondyloid, so entsteht ein elektrischer Strom, der

---

[1]) Die magnetischen Kraftlinien sind bereits definirt worden (3071). Auch habe ich, wie ich glaube, ihre Spur verfolgt und gezeigt, dass sie geschlossene Curven bilden, die auf einem Theil ihres Laufes durch den Magnet, dem sie zugehören, und auf dem anderen durch den Raum gehen (3117). Nimmt man einen Stabmagnet und denkt sich irgend eine dieser Linien E sich um die Axe des Magnets herumdrehen, so beschreibt sie eine Fläche, und da die Linie selbst eine geschlossene Curve bildet, so wird die Fläche die einer die Axe des Magnets umgebenden Röhre sein und ein körperliches Gebilde einschliessen. Eine andere Kraftlinie F wird ein ähnliches Product ergeben. Der Sphondyloid-Körper kann entweder der sein, der von der Umdrehungsfläche von E umfasst wird, oder der, welcher zwischen den beiden Flächen von F und E enthalten ist, und den ich (auf den Rath eines Freundes) der Kürze halber *Sphondyloid* genannt habe. Die innerhalb und ausserhalb des Magnets liegenden Theile des beschriebenen Massivs sind an Kraft einander äquivalent. Wenn es erforderlich ist, von ihnen als getrennten Theilen zu reden, so kann man sie bequem als innere und äussere Sphondyloide unterscheiden; die Oberfläche des Magnets bildet dann einen Theil der Begrenzungsfläche.

ein ganz bestimmter und für jede Durchschneidung des Sphondyloids derselbe ist. Auch verursacht der Draht, gleichviel ob er in Ruhe oder in Bewegung ist, keine Störung oder Ausdehnung oder Zusammenziehung der Kraftlinien, sondern soweit sich erkennen lässt, bleibt der Zustand der Kraft in seiner Nähe oder an anderen Stellen des Sphondyloids derselbe (3176).

3272. Der alte Versuch, dass ein Draht, durch den ein elektrischer Strom geleitet wird, sich um einen Magnetpol dreht[1]), oder dass in diesem Draht, wenn er um den Pol herumgeführt wird, ein Strom entsteht (114), zeigt die elektrische Beziehung zwischen dem Magnet und dem Draht, sowohl wenn der Strom von vornherein vorhanden ist, als auch wenn er bei der Bewegung entsteht. Im Princip fällt dies mit den bereits angeführten Resultaten zusammen und schliesst erfahrungsgemäss alle Elektricitätsströme ein, in welchem Medium sie auch entstehen mögen, sowohl den Entladungsstrom einer Leydener Flasche als auch den Strom einer Volta'schen Batterie. Dies zeigt auch, wie ich glaube, den Zustand magnetischer und elektrischer Spannung in dem umgebenden Raume an, und nicht bloss, wenn dieser Raum von Metall oder einem Draht, sondern auch wenn er von Luft und anderen Körpern eingenommen ist, denn der Zustand ist wahrscheinlich allgemein und daher in allen diesen Fällen derselbe (3173).

3273. Ich will mir nun einstweilen gestatten, die physische Existenz der äusseren magnetischen Kraftlinien anzunehmen, um zuzusehen, wie diese Vorstellung mit den allgemeinen Erscheinungen des Magnetismus stimmt. Der Magnet unterhält offenbar die Kraft, und es giebt über seine innere Beschaffenheit oder die seiner Theilchen keine Ansicht, welche der von Ampère an Wahrscheinlichkeit und Schönheit nahekommt (1659). Die Analogie mit einer Spirale ist wundervoll; trotzdem giebt es erfahrungsmässig einen in die Augen fallenden Unterschied zwischen ihnen; denn während ein unveränderlicher Magnet den Zustand eines Stückes weichen Eisens nicht über seinen eigenen steigern kann, wie er durch den bewegten Draht gemessen wird (3219), kann eine von einem Strome durchflossene Spirale in einem Eisenkern magnetische Kraftlinien von hundertfacher oder noch grösserer Intensität hervorrufen als sie selbst zeigt, wenn man dasselbe Mittel zur Messung anwendet. Unter allen Umständen verdient also der Magnet sowohl als solcher wie auch als Elektricitätsquelle die äussersten Anstrengungen des Physikers, um seine Natur zu enthüllen und uns mit dem grossen Gesetze bekannt zu machen, unter welchem am Ende die Anomalie als nur scheinbar verschwindet und alle diese mannigfaltigen Erscheinungen *eins* werden.

3274. Die physischen Kraftlinien zeigen bei ihrem Austritt aus dem Magnet in den Raum eine grosse Mannigfaltigkeit der Gestalt (3238). Manchmal

---

[1]) Experimental-Untersuchungen, vol. II, p. 115.

erscheinen sie ganz plötzlich gebrochen und bilden mit dem Magnet rechte oder stumpfe oder spitze Winkel; so bei einem harten gesättigten Stabmagnet, Fig. 2; in den anderen Fällen ist die Gestaltsänderung der Linie bei ihrem Austritt aus dem Magnet in den Raum allmählicher, wie bei einem kreisscheiben- oder kugelförmigen Magnet, Fig. 3, 4, 5. Hier kommt es viel auf die Gestalt des Magnets als des Ursprungsortes der Linien an; ich glaube jedoch, dass auch der Zustand und die Beziehung des umgebenden Mediums einen wesentlichen und offenbaren Einfluss hat, den ich nun darzulegen versuchen will. Ferner beeinflusst auch die relative Verschiedenheit der Natur des Magnets und des ihn umgebenden Mediums oder Raumes diese gebrochene Gestalt der Linien; je grösser die Verschiedenheit und je plötzlicher demnach der Uebergang ist, desto plötzlicher beugt sich die Kraftlinie. Bei der Erde bewirkt sowohl die Natur ihrer Substanz, als auch ihre Gestalt, dass die Biegung der Kraftlinien an der Oberfläche eine ganz allmähliche ist, und demgemäss bemerkt man auch unter gewöhnlichen Umständen keine Verschiedenheit der Inclinationslinie an demselben Orte, man mag sie nun an der Oberfläche selbst oder oberhalb oder unterhalb derselben beobachten.

3275. Wiewohl man sich vorstellen darf und muss, dass die physischen Kraftlinien eines Magnets, so lange derselbe wirklich allein vorhanden ist (3110), sich in unendliche Ferne rings um ihn ausbreiten, so können dieselben doch unter dem Einfluss anderer magnetischer Kraftsysteme auf einen sehr kleinen Raum verdichtet und zusammengedrängt werden. Dies ist in Fig. 6 angedeutet. Nach den in der achtundzwanzigsten Reihe mitgetheilten Versuchsergebnissen über die Bestimmtheit der magnetischen Kraftwirkung (3109) zweifle ich nicht, dass das die gesammte Kraft repräsentirende Sphondyloid, das in dem durch die Figur veranschaulichten Versuch noch nicht zwei Quadratzoll Querschnitt hat, auf den bewegten Draht eine ebenso starke Wirkung ausüben würde, als das unendliche Sphondyloid, welches existiren würde, wenn der kleine Magnet sich im freien Raume befände.

3276. Der Zustand des Magnets mit seiner ihn umgebenden Kraftröhre kann als analog einer Volta'schen Batterie betrachtet werden, die in Wasser oder einen anderen Elektrolyt getaucht wäre; oder analog einem Zitteraal (1773, 1784) oder einem Zitterrochen in dem Augenblick, da diese Thiere freiwillig die umgebende Flüssigkeit mit elektrischen Kraftlinien erfüllen. Ich halte die Analogie mit der Volta'schen Batterie in der genannten Lage für passender als die mit irgend einem Vorgange von elektro*statischer* Induction, weil im ersteren Falle die physischen Linien elektrischer Kraft sowohl durch die Batterie als auch durch das umgebende Medium verfolgt werden können; denn sie bilden continuirliche Curven wie die, welche ich mir innerhalb und ausserhalb des Magnets denke. Die Richtung dieser Linien elektrischer Kraft kann durch den Versuch auf

mannigfache Weise verfolgt werden. Eine in der Flüssigkeit frei aufgehängte Magnetnadel wird dieselben in und nahe bei der Batterie nachweisen, indem sie sich rechtwinklig zur Bahn der Linien stellt. Ebenso werden sie zwei mit einem Galvanometer verbundene Drähte erkennen lassen; denn wenn die Linie, welche die beiden Enden derselben in der Flüssigkeit verbindet, rechtwinklig ist zu den elektrischen Kraftlinien (oder den Strömen), so wird keine Wirkung auf das Galvanometer stattfinden; steht sie aber schief oder parallel zu diesen Linien, so wird dieses eine Ablenkung erfahren. Auch eine Platte oder ein Draht oder eine Kugel von Metall in der Flüssigkeit wird die Richtung angeben, wenn ein elektrolytischer Vorgang sich dorthin verbreiten kann, wenn das Medium beispielsweise etwas Bleiacetat enthält; denn alsdann wird die Elektrolyse in Richtung des Stromes oder der Kraftlinie ein Maximum sein, dagegen Null in der hierzu senkrechten Richtung. Dieselbe Kugel wird die elektrischen Kraftlinien in der umgebenden Flüssigkeit stören und brechen, gerade so wie ich mir denke, dass es paramagnetische Körper mit den magnetischen Kraftlinien thun (2806, 2821, 2874). Es wird wohl Niemand bezweifeln, dass, so lange die Batterie sich in der Flüssigkeit befindet und durch diese geschlossen ist, elektrische Kraftlinien in jedem Theile derselben und der Flüssigkeit auftreten und eine physische Existenz haben.

3277. Ich denke mir, dass, wenn ein Magnet sich im freien Raume befindet, er von einem solchen Medium (im magnetischen Sinne gesprochen) umgeben ist. Aus früheren Versuchen hat sich ergeben, dass ein Vacuum seine eigenen attractiven und repulsiven magnetischen Beziehungen hat (2787), die das Vacuum nicht an das Ende der Reihe der materiellen Körper, sondern in die *Mitte* derselben stellen, beispielsweise zwischen Gold und Platin (2399), zu deren Seiten wieder andere Körper stehen. Was das von aller materieller Substanz freie Medium sein mag, weiss ich nicht zu sagen, vielleicht der Aether. Ich bin geneigt, dieses äussere Medium als dem Magnet *wesentlich* anzusehen, als dasjenige, welches mittelst der krummen Kraftlinien die äusseren Polaritäten zu einander in Beziehung setzt. Eine so vermittelte Beziehung muss, meine ich, nothwendig vorhanden sein. Wie es in dem obigen Beispiel von der Batterie weder innerhalb noch ausserhalb derselben eine Kraftlinie giebt, wenn eine derartige Beziehung durch Fortnahme des leitenden Mediums abgeschnitten wird; oder wie die elektrostatische Induction ohne eine solche Beziehung unmöglich ist (**1169**)[1]), so denke ich mir, dass es ohne jene äussere gegenseitige Beziehung der Pole oder ohne eine in gleicher Weise ermöglichte und aufrecht erhaltene Beziehung zu anderen Polen keinen Magnet geben könnte; ein absoluter oder beziehungsloser Nord- oder Südmagnetismus ist

---

[1]) Philosophical Magazine, März 1843, oder Experimental-Untersuchungen, vol. II, p. 251.

ebenso unmöglich wie eine absolute oder beziehungslose Existenz von positiver oder negativer Elektricität (1178).

3278. Unter diesem Gesichtspunkte erscheint das den Magnet umgebende Medium oder der Raum ebenso wesentlich wie der Magnet selbst, als ein Theil des wahren und vollständigen magnetischen Systems. Zahlreiche Versuchsergebnisse lehren uns, dass die Beziehung der Linien zu dem umgebenden Raum geändert werden kann, wenn andere Substanzen denselben einnehmen, gerade so wie die Beziehung eines Lichtstrahles zu dem Raume, den er durchdringt, dadurch geändert werden kann, dass man andere Substanzen in denselben einführt, oder wie die elektrischen Kraftlinien von den Mitteln, durch welche Induction oder Leitung stattfindet, beeinflusst werden. Diese Aenderung der magnetischen Kraft kann man als bedingt ansehen von der Fähigkeit des umgebenden Raumes, die gegenseitige Beziehung der beiden äusseren Polaritäten herzustellen oder die physischen Kraftlinien fortzuleiten. Ich habe dieselbe und deren Consequenzen früher betrachtet, und die physikalische Wirkung, welche durch die Gegenwart entweder paramagnetischer oder diamagnetischer Körper hervorgebracht wird, als *magnetische Leitung* bezeichnet (2797).

3279. Wenn beispielsweise ein Stück Eisen (3129) oder Nickel (3240) von gewöhnlicher Temperatur in das magnetische Feld eingeführt wird, das bis dahin von Luft oder dem blossen Raume erfüllt war, so findet eine Concentration der Kraftlinien daselbst statt, und durch den so erfüllten Raum wird mehr Kraft hindurchgelassen, als wenn der paramagnetische Körper nicht vorhanden wäre. Die Kraftlinien convergiren also nach dem Körper hin oder divergiren von ihm aus und bringen so die Erscheinung hervor, die ich Leitungspolarität genannt habe (2818). Dies ist zugleich der ganze Einfluss, den derselbe ausübt; den Betrag der äusseren Kraft des Magnets vermehrt er weder, noch vermindert er ihn im geringsten (3218, 3223). Es entsteht eine neue Vertheilung der Kraft, indem ein Theil nun dort hindringt, wo er vorher nicht ging, und abgelenkt wird von Orten, wo er vorher hindurchging. Denken wir uns, der Magnet werde von einer massiven Eisenmasse eingeschlossen, so wird ihre grössere Leitungsfähigkeit den Erfolg haben, dass eine starke Contraction der äusseren Wirkungssphäre und der verschiedenen Sphondyloide, durch die wir uns die verschiedenen Theile derselben dargestellt denken können, nach innen stattfindet. Könnte eine Magnetnadel in das Eisen eingeführt werden, so würde sie eine äusserst starke Schwächung, wenn nicht eine anscheinend völlige Vernichtung der äusseren Kraft dieses Magnets anzeigen; allein der bewegte Draht würde zeigen, dass sie dort in ihrem vollen Umfange in einem stark concentrirten Zustande vorhanden sei (3152, 3162), wie er dies auch für das Innere des Magnets selbst nachweist (3116). Die Kraft im Innern des Magnets, vorausgesetzt dass er hart und vollkommen sei, würde dieselbe bleiben.

3280. Der Grund, weshalb eine Magnetnadel nicht zu genauen Angaben des Betrages des Magnetismus in einem gegebenen Raume dienen kann, ist der, dass sie, wenn sie vollkommen ist, weil sie dann nothwendig hart sein muss, nicht mehr Kraftlinien durch ihre Masse leiten kann, als sie selbst zu erregen vermag (3223). Da aber ähnliche Kraftlinien mit ihren Enden verschmelzen (3226), so lenkt eine solche Nadel, wenn sie von einem schlechten magnetischen Leiter umgeben ist, viele Linien, die sonst anderswohin gehen würden, auf sich selbst, besitzt eine starke magnetische Polarität und wird im Verhältniss hierzu beeinflusst. In der That scheint jeder Versuch, soviel ich sehe, zu zeigen, dass die Anziehungen und Abstossungen einfache Folgen des Bestrebens der Linien der natürlichen magnetischen Kraft, sich zu verkürzen, sind (3266). Wenn demnach eine Magnetnadel von einem Medium umgeben ist, dessen Leitungsvermögen allmählich wächst, so würde es nach ihren Angaben scheinen, dass die Kraft in ihrer Nachbarschaft immer schwächer und schwächer wird, während sie in Wirklichkeit mehr und mehr zunimmt. Wir können uns leicht vorstellen, dass eine sehr harte und schwach magnetisirte Nadel von einem Medium, wie etwa weiches Eisen, umgeben sei, das ein besseres Leitungsvermögen besitzt als sie selbst, d. h. durch Leitung mehr Kraftlinien fortführt als die Nadel durch ihren Magnetismus zu sich hinzulenken oder fortzuleiten vermag (3298). In diesem Falle würde sie, wie ich sehe, wenn sie frei beweglich wäre, in Folge der Verschmelzung der Kraftlinien mit schwacher Kraft gegen das Eisen pointiren, von dem Hauptmagnet aber, analog dem Verhalten eines diamagnetischen Körpers, abgestossen werden. Wie ich früher bemerkt habe, kann die Methode mit dem bewegten Draht in den Fällen mit Erfolg angewandt werden, wo die Magnetnadel uns im Stich lässt (3155).

3281. Auch was die Beziehung anderer paramagnetischer Körper ausser Eisen zu dem umgebenden Medium betrifft, so kann man annehmen, dass ihre Wirkungen proportional ihrem Leitungsvermögen seien. Wäre das umgebende Medium harter Stahl, so würde die Contraction der Kraftröhre viel geringer sein als beim Eisen, und die Erscheinungen an der Magnetnadel würden sich nur in beschränktem Maasse zeigen. Mit einer Eisenvitriollösung wäre die Wirkung eine noch sehr viel schwächere. Stellt man eine Lösung von solcher Combination her, dass sie weder paramagnetische noch diamagnetische Eigenschaften zeigt (2422), so würde sie sich den Kraftlinien gegenüber wie der freie Raum verhalten. Bei einem diamagnetischen Körper, wie Wasser, Glas, Wismuth oder Phosphor, würde sich der Wirkungsbereich der Sphondyloide erweitern (3279), und eine Magnetnadel würde an einem Orte, wo ein geringerer Betrag an magnetischer Kraft hindurchginge als vorher, eine stärkere Wirkung anzuzeigen scheinen (3155). Ob in einem dieser Fälle, auch das Eisen einbegriffen, in dem als Leiter wirkenden Körper zeitweilig ein solcher Zustand seiner

Theilchen inducirt ist, wie in einem Magnet in dem entsprechenden Zustande, ist eine Frage, die ich bei einer früheren Gelegenheit aufwarf (2833); die völlige Klarstellung und Entscheidung derselben überlasse ich jedoch der Zukunft.

3282. Die von der Gestalt und Grösse der Magnete abhängigen Umstände scheinen mir in ausgezeichneter Uebereinstimmung mit der von mir aufgestellten Ansicht über die Wirkung des umgebenden Mediums zu sein. Wenn das Medium eine der Leitung äquivalente Function hat, wenn sich demnach in verschiedenen Fällen Verschiedenheiten in der Leitung zeigen, so muss auch nothwendig eine Reaction oder ein Widerstand vorhanden sein. Ohnedies könnte es keine Verschiedenheiten geben. Die elektrische Kraft bietet uns einen in jeder Hinsicht analogen Fall. Wenn wir demnach einem Magnet anstatt der Stabform die Hufeisenform geben, so sehen wir sogleich, dass die Kraftlinien und Sphondyloide beträchtlich verzerrt und von ihrer früheren Regelmässigkeit abgelenkt werden; dass in dem Maasse, als die Hufeisenform vollkommener ist, eine Linie maximaler Kraft von Pol zu Pol ansteigt; dass die Kraft sich in dieser Linie concentrirt oder um dieselbe sich ansammelt, eben weil das schlecht leitende Medium, die Luft oder der Raum zwischen den Polen, kürzer geworden ist. Eine gebogene Volta'sche Batterie in ihrem umgebenden Medium (3276), oder ein Gymnotus, der sich im Augenblick seiner eigenthümlichen Wirkung krümmt (1735), stellen genau das nämliche Resultat dar.

3283. Die Art, wie der Anker, wenn er an den Magnet angelegt ist, die Kraft desselben in dem umgebenden Raum oder der Luft reducirt, ist einleuchtend. Es ist die Ersetzung eines schlechten Leiters durch einen sehr guten, durch den weit mehr von der Kraft des Magnets hindurchgelassen wird, als vorher durch denselben Raum, und daher an anderen Stellen weniger. Wird ein Hufeisenmagnet mit seinem Anker bis zur Sättigung magnetisirt, so wird man finden, dass seine Stärke sich vermindert, wenn der Anker fortgenommen wird. Dies ist (der Hypothese zufolge) deshalb der Fall, weil der eiserne Anker vermöge seiner Leitung günstigere äussere Bedingungen der magnetischen Kraft unterhalten, und der *Magnet* daher eine stärkere Magnetisirung aufnehmen und behalten konnte. Der Fall führt zu dem eines stählernen Ringmagnets, der nach aussen hin keine Anzeichen von Magnetismus giebt, weil die Kraftlinien einer Stelle sich durch alle anderen Stellen des Ringes fortsetzen. Wird er jedoch durchbrochen, so zeigt er eine starke Polarität und äussere Wirkung, weil die von einem Punkte entspringenden Kraftlinien, die vorher ununterbrochen durch den in sich geschlossenen Magnet hindurchgingen, nun durch den umgebenden Raum gehen und sich fortsetzen müssen.

3284. Diese Resultate leiten ferner zu der Thatsache über, die sich theilweise leicht verificiren lässt, dass ein Magnet, der von weichem Eisen umgeben ist, das mit seinen Polen in Berührung ist, weit stärker magnetisirt werden kann, als wenn er von einer schwächeren paramagnetischen Substanz, wie Luft, umgeben ist. Hierher gehört auch die Thatsache, dass, wenn Weicheisenmassen sich an den Enden eines Magnets befinden, dieser mehr Magnetismus aufnehmen und halten kann als ohne sie; denn diese Massen leiten die physischen Kraftlinien fort und übertragen sie auf einen Körper des umgebenden Raumes. Dieser wird so entweder quer zu den Kraftlinien erweitert und demnach verstärkt, oder in Richtung derselben, also parallel zu den Kraftlinien, verkürzt, oder beides; und beide Umstände begünstigen die Leitung von Pol zu Pol und die Beziehung der äusseren Kraftlinien zu denen im *Innern* des Magnets. Auf dieselbe Weise erklärt sich der Nutzen der Armatur eines natürlichen Magnets. Alle diese Erscheinungen und Hilfsmittel stehen im Einklang mit der Ansicht, dass der Raum oder das Medium ausserhalb des Magnets für seine Existenz ebenso wichtig ist, als der Magnetkörper selbst.

3285. Grosse wie kleine Magnete können übersättigt werden; ihre Stärke sinkt, wenn sie sich selbst überlassen werden, anfänglich, wenn sie stark übersättigt sind, rasch, alsdann langsamer. Dies würde die Hypothese dadurch erklären, dass das umgebende Medium seiner schwachen magnetischen Leitungsfähigkeit wegen unvermögend sei, die hohe Magnetisirung aufrecht zu erhalten. Nähme die Leitungsfähigkeit genügend zu, so würde der Magnet nicht übersättigt werden und seine Stärke würde nicht sinken. Wenn beispielsweise ein Magnet von Eisen umgeben wäre, so würde man ihn leicht auf einen solchen Grad der Magnetisirung bringen können, dass dieser augenblicklich abnähme, wenn das Eisen plötzlich durch Luft ersetzt würde. In der That kann man Magnete nur dann übersättigen, wenn sie sich unter der Herrschaft anderer Quellen magnetischer Kraft oder günstigerer umgebender Media befinden, als das ist, in welchem sie sich als übersättigt zeigen.

3286. Die wohlbekannte Thatsache, dass kleine Stabmagnete im Verhältniss zu ihrer Grösse kräftiger sind als ihnen ähnliche grosse, steht mit der dargelegten Ansicht über die Wirkung des äusseren Mediums im Einklang und *stützt* dieselbe. Eine Nähnadel kann weit stärker magnetisirt werden als ein zwölf Zoll langer und einen Zoll im Durchmesser haltender Stab; der Grund ist, meiner Ansicht nach, der, dass die Erregung des Systems in dem Magnet (entsprechend der Volta'schen Batterie in der angezogenen Analogie (3276)) in Folge des nothwendigen gleichzeitigen Einflusses des umgebenden Mediums bei dem kleinen Magnet besser aufrecht erhalten wird. Denn wie das Medium mit seinem unvollkommenen Leitungsvermögen (oder dem hieraus sich ergebenden Spannungszustand, in den es versetzt ist) eine Rückwirkung auf den Magnet ausübt (3282), so wird das umgebende Medium, je kleiner

die Gesammtheit der erregenden Kraft im Mittelpunkte der magnetischen Sphondyloide ist, um so besser geeignet sein, seinen Einfluss auf Unterhaltung der resultirenden Kraft geltend zu machen. Denkt man sich den zwölf Zoll langen Stab in Nadeln getheilt und diese von einander getrennt, so erstreckt sich offenbar die Wirkung der gesammten, in geschlossenen magnetischen Curven fortgeleiteten erregenden Kraft auf einen weit grösseren Umfang des umgebenden äusseren Mediums, als wenn sie alle zusammen den einen Stab bilden.

3287. Mit der hier betonten Ansicht über die Rolle des äusseren Mediums stehen die Beobachtungen über den Einfluss der *Länge* und *Dicke* eines Magnetstabes im Einklang. Nehmen wir einen kleinen gesättigten Magnet von geeigneten Abmessungen, etwa eine Nähnadel, so hat sie, wenn sie allein da ist, wie erwähnt, eine solche Beziehung zu dem umgebenden Raum, dass ihr hoher magnetischer Zustand aufrecht erhalten wird. Stellen wir eine zweite gleiche Magnetnadel neben sie, so ist der beide umgebende Raum kaum vergrössert, seine Leitung ist durchaus nicht besser geworden und doch hat er nun das Doppelte der inneren erregenden magnetischen Kraft, welche sich bei der Gegenwart nur einer einzigen Nadel äussert, aufrecht zu erhalten (3232). Dies muss eine Rückwirkung auf die Magnete üben und eine Schwächung ihrer Kraft verursachen. Der Effect wiederholt sich, wenn man noch eine dritte Nadel hinzubringt, und wenn wir uns denken, dass immer mehr und mehr Nadeln hinzugefügt werden, bis wir ein Bündel von einem Zoll Dicke haben, so wird sich der Einfluss zeigen, den eine im Verhältniss zur Länge zu grosse Dicke hat.

3288. Andererseits, wenn wir zwei solche, in einem Zoll Abstand von einander in einer geraden Linie ähnlich gelegene Nadeln nehmen, so hat jede ihr eigenes, sie umgebendes Curvensystem, das einen gewissen Raum einnimmt; bringen wir sie mit ihren ungleichnamigen Polen an einander, so bilden sie einen Magnet von doppelter Länge; die äusseren Kraftlinien verschmelzen mit einander (3226), die an den Berührungsflächen verschwinden nahezu, die von den äusseren Polen ausgehenden verschmelzen aussen mit einander und bilden ein einziges grosses äusseres Kraftsystem, dessen Linien eine grössere Länge haben als die entsprechenden Linien einer jeden der beiden ursprünglichen Nadeln. Dennoch bleibt, wenn wir die Magnete als vollkommen hart und unveränderlich ansehen, die Grösse der erregenden Kraft im Innern dieselbe, oder hat das Bestreben gleich zu bleiben (3227), und es giebt nichts, was sie steigern sollte. Die Verlängerung des äusseren Kreises, welcher wie ein widerstehendes Medium auf die innere Kraft wirkt, wird demnach die Kraft des ganzen Systems zu verringern suchen. Um dies durch eine Analogie zu erläutern (3276), so würde dies ein ähnlicher Fall sein, wie wenn eine von destillirtem Wasser umgebene Volta'sche Batterie in demselben verlängert werden könnte, so dass ihre Pole weiter von einander entfernt würden. Obschon sich in dem Falle von fertigen

Magneten ein der Intensität der elektrischen Erregung entsprechender Effect hervorbringen lässt, indem man mehrere Magnete mit ihren Enden an einander legt, so scheint der Umstand, dass die Aufrechterhaltung der äusseren Kraft verringert ist, sich als eine Folge des vergrösserten Abstandes der äusseren Pole oder äusserer, zu einander in Wechselbeziehung stehender Theile zu ergeben. Die elektrostatische Induction liefert einen ähnlichen, den vorliegenden beleuchtenden Fall.

3289. Den gewöhnlichen Fall, in welchem der Einfluss der Länge und Dicke sich offenbart, hat man jedoch nicht immer oder auch nur oft dann, wenn man schon völlig gesättigte Magnete neben einander stellt, sondern dann, wenn ein Stab eben magnetisirt wird. Wenn man zwei Stäbe von gleicher Beschaffenheit des Stahls, gleicher Härte u. s. w., von denen der eine einen Zoll Länge und ein Zehntel Zoll Durchmesser, der andere dieselbe Länge, aber einen halben Zoll Durchmesser hat, bis zur Uebersättigung magnetisirt, so wird der letztere, wiewohl seine Stahlmasse das Fünfundzwanzigfache des ersteren enthält, aus dem oben angegebenen Grunde (3287) nicht den fünfundzwanzigfachen Betrag an Magnetismus zurückbehalten, da das umgebende Medium nicht im Stande ist, diesen Betrag an äusseren Kraftlinien aufrecht zu erhalten. Wird aber gleichzeitig ein dritter Stab von zwei Zoll Länge und gleichfalls einem halben Zoll Durchmesser magnetisirt, so kann er viel mehr Magnetismus aufnehmen als der zweite. Die Hypothese giebt den natürlichen Grund dafür an; denn die Grenze für die Kraft liegt nicht in den Magneten selbst, sondern in dem äusseren Medium. Der kürzere Magnet steht mit seiner Oberfläche von bestimmter Grösse mit diesem Medium in Berührung und Zusammenhang, und der Magnet behält so viel von seiner Kraft zurück, als das seine Oberfläche begrenzende Medium aufrecht erhalten kann. Nimmt man den Magnet länger, so ist die Berührung mit dem umgebenden Medium und die Beziehung zu demselben grösser als früher, und daher kann der Magnet mehr Kraft zurückbehalten. Ein solches Resultat würde man nach meiner Ansicht über die physikalischen Vorgänge schwerlich erhalten, wenn es im Magnet solche Punkte als Sitz resultirender Kraftwirkung gäbe, wie man es oft unter dem Ausdruck *Pole* versteht. Solche Pole existiren aber nicht. Jedem Punkte der Oberfläche des Magnets entströmen, so zu sagen, magnetische Kraftlinien nach aussen hin, wie aus den Figuren 2, 3, 4 und 5 ersichtlich ist (3274). Je grösser der Magnet innerhalb gewisser Grenzen ist, und je grösser die Menge des mit ihm in Berührung befindlichen äusseren leitenden Mediums ist, desto ungehinderter geht diese Uebertragung vor sich. Denken wir uns, dass wir an jedes Ende des bis zur Sättigung magnetisirten zweiten Magnets von einem Zoll Länge, während er sich im freien Raume befindet, ein Stück Eisen von einem halben Zoll Länge anlegten, so sehen und wissen wir, dass viele Kraftlinien, die ursprünglich von der Stelle seiner Oberfläche ausgingen, die immer noch mit der Luft

des äquatorialen Theiles in Berührung ist, sich nun nach innen gegen die Enden drängen und von einer Stelle der Oberfläche des weichen Eisens ausgehen. Dies zeigt eben, wie die Spannung durch dieses besser leitende Medium an den Enden und durch die Vergrösserung der Berührungsfläche mit dem umgebenden schlechten Leiter, der Luft oder dem Raume, gemässigt wird. Der dicke kurze Magnet konnte offenbar eine weit grössere Anzahl physischer Magnetkraftlinien wecken und fortleiten, als der umgebende Raum aufzunehmen und von Pol zu Pol fortzuführen vermag; und die Verlängerung des Magnets kann weiter vortheilhaft sein, bis die Zunahme der Kraft, welche von dem vergrösserten Medium im Kreise aufrecht erhalten werden kann, gleich der ist, welche der Magnet aufrecht erhalten oder nach innen übertragen kann. Denn alle diese Kraftlinien, von welchem Punkte des Magnets sie auch ausgehen, müssen dessen Aequator durchschreiten, und somit hat der Aequator oder die Dicke des Magnets eine Beziehung zu seiner Länge. So findet der Vortheil, den die Verlängerung des Magnetstabes bietet, seine Grenze in der Zunahme des Widerstandes im Innern desselben und besonders am Aequator des Stabes, und die Zunahme seiner Breite (bei wachsenden Kräften) in der Zunahme des Widerstandes des umgebenden äusseren Mediums (3287).

3290. Es ist sehr interessant zu beobachten, was geschieht, wenn man versucht, einen dünnen Stahldraht von etwa 15 bis 20 Zoll Länge und 0,05 Zoll Durchmesser regelmässig zu magnetisiren. Mit Magnetstäben lässt sich dies kaum bewerkstelligen, und wenn man dann den Draht mittelst Eisenfeilspäne untersucht (3234), so findet man unregelmässige und Folgepole, die sich ändern, wenn man die Magnetisirung desselben Drahtes wiederholt, wie wenn sie plötzlich durch eine Durchbrechung einer Art labilen Gleichgewichts hervorträten. Die Vorgänge lassen sich anscheinend hauptsächlich auf die eben angegebene Ursache zurückführen. Wenn man ferner eine dünne, harte Stahlplatte, deren Länge das Zehn- oder Zwölffache ihrer Breite beträgt, magnetisirt, so gehen bekanntlich die Kraftlinien in grösster Fülle von den äussersten Ecken, demnächst von den Kanten aus; von einer Stelle der Fläche entspringen die Linien in viel geringerer Anzahl als von einer gleichen und gleich weit vom magnetischen Aequator entfernten Stelle an der Kante. Dies lässt sich mittelst Eisenfeilicht, ebenso wie mit Hülfe der Schwingungen einer Magnetnadel und der Umdrehungen eines Drahtringes (3212) leicht erkennen. Dieses Verhalten des Plattenmagnets ist nun genau so, wie es sich nach der Hypothese der nothwendigen Abhängigkeit des magnetischen Zustandes von dem den Magnet umgebenden Medium erwarten lässt.

3291. Die hier vertretene Ansicht von der gegenseitigen Abhängigkeit zwischen einem Magnet und dem äusseren Medium findet eine Stütze in zahlreichen Beobachtungen über den in verschiedenen Fällen anscheinend oberflächlichen Charakter des Magnetismus des Eisens und der Magnete und kann viel-

leicht zur Erklärung derselben dienen. Wird ein harter Stahlstab durch Berührung mit Magneten magnetisirt, so wird zunächst die Nachbarschaft der Oberflächentheile des Stabes gegen den erregenden Magnet und dann gegen das umgebende widerstehende Medium bewirken, dass der Magnetismus des Stabes ein oberflächlicher wird. Wird ein kleiner Magnet in Stab- und Hufeisenform von einer dicken Eisenschale als äusserem Medium umgeben, so wird die innere oder die dem Magnet nähere Fläche des Eisens und ihre benachbarten Theile mehr Kraft fortleiten als die entfernteren Theile. Legt man einen dicken Eisenkern in eine Spirale, durch die ein schwacher oder mässiger elektrischer Strom geleitet wird, so ist es der der Spirale nächste Theil des Kernes, welcher am stärksten magnetisirt wird. Wahrscheinlich können andere ähnliche Erscheinungen auftreten oder erdacht werden, die einen wichtigen Beitrag zur Discussion der hier betrachteten Frage über physische Kraftlinien liefern dürften.

3292. Wenn wir das einen Magnet umgebende Medium, anstatt es als homogen oder von gleichförmiger magnetischer Kraft anzusehen, in seinen verschiedenen Theilen variiren lassen, so scheinen mir die Folgen immer noch in vollkommener Uebereinstimmung mit der Vorstellung von physischen magnetischen Kraftlinien zu sein, die, im äusseren Raume existirend, nach Richtung und Menge bestimmt sind. Die Anzahl der zu unserer Verfügung stehenden Substanzen, die den umgebenden Raum in dieser Hinsicht beeinflussen, gestattet keine grosse Auswahl zu schrittweisem Vorgehen; wir haben indess Eisen, Nickel und Cobalt als sehr stark paramagnetische Körper und besitzen im harten Stahl einen Körper, der sehr tief unter diesen steht; demnächst etwa kämen Eisenoxyde, Lösungen der magnetischen Metalle, Sauerstoff und Wasser, Glas, Wismuth und Phosphor als diamagnetische Substanzen. Nehmen wir als Kraftquelle den Erdmagnetismus und stellen eine Kugel von Eisen oder Nickel in Luft auf, so sehen wir an der Pointirung einer kleinen Magnetnadel (oder auch mit Hilfe von Eisenfeilspänen (3240)), wie die Kraftlinien unter dem Einfluss des Leitungsvermögens des paramagnetischen Körpers, indem sie in die Kugel eintreten und aus ihr austreten, von ihrer Bahn abgelenkt werden. Die Gestalt derselben ist an einer früheren Stelle beschrieben worden (3238). Nehmen wir einen grossen Magnetstab und legen ein Stück weiches Eisen, das ungefähr halb so breit als der Magnet und drei- oder viermal so lang als breit ist, dem Ende desselben gegenüber ungefähr in einem seiner eigenen Breite gleichen Abstande von einem Pole, bedecken es mit Papier und beobachten die Gestalt der Kraftlinien mittelst Eisenfeilicht, so sehen wir, wie schön die von dem Magnet ausgehenden in zarten Beugungen gegen das Eisen convergiren, dabei durch eine verhältnissmässig kleine Fläche eintretend, und wie sie an dem entfernteren Theile des Stabes in viel diffuseren Streifen durch eine weit grössere Fläche austreten, Fig. 7. Nimmt man mehrere Stück Eisen, beispielsweise Würfel, so kann man sehen, dass

die Kraftlinien, die sich allesammt ausserhalb befinden, successive Undulationen in entgegengesetzten Richtungen machen, Fig. 8. Ich bin jedoch überzeugt, dass in allen diesen Fällen, bei der Kugel, dem Stabe und den Würfeln, ein Querschnitt durch die nämlichen Kraftlinien in irgend einem Theile ihres Laufes, gleichviel wie oder in welchem Sinne sie abgelenkt sein mögen, denselben Wirkungsbetrag geben müsse (3109, 3218); zugleich ist die Thatsache der Ablenkung selbst nicht bloss in Uebereinstimmung mit der Idee von physischen Kraftlinien, sondern führt geradezu auf sie hin.

3293. Ferner steht hiermit in vollkommenem Einklang der Umstand, dass die Kraft nach den Angaben einer gewöhnlichen Magnetnadel in solchen Fällen verschwindet. Eine kleine Nadel zur Seite des oben (3292) beschriebenen Stabes zeigt viel weniger magnetische Kraft an, als wenn das Eisen nicht vorhanden wäre. Befindet sie sich in einer Höhlung des Eisens, so ist sie gegen den Magnet nahezu indifferent; die übrig bleibende Kraft zeigt jedoch, dass die durch die Luft in die Höhlung eintretenden Kraftlinien dieselbe Richtung haben wie die durch das benachbarte Eisen gehenden. Diese Erscheinungen sind ohne Zweifel wohlbekannt, und ich habe bloss die Absicht, zu zeigen, dass sie mit der Vorstellung, dass die äusseren Media ein magnetisches Leitungsvermögen besitzen, in Uebereinstimmung stehen und ihr zur Stütze dienen. Für diese scheinbare Zerstörung von Kraft, ja sogar für noch weit grössere Anomalien (2868, 3155) giebt jedoch die Hypothese eine ausreichende Erklärung, während sich durch den bewegten Draht experimentell zeigen lässt, dass der Betrag der Kraft absolut unverändert bleibt. Ich hatte früher Anlass, von der Modification der magnetischen Kraft (in Bezug zur Magnetnadel) zu reden in dem Falle, dass sie bei absoluter Constanz der Quantität durch bessere oder schlechtere Leiter hindurchgeht, und mich dabei der Ausdrücke *Quantität* und *Intensität* bedient (2866, 2868, 2870). Ich möchte jedoch diese oder ähnliche Ausdrücke jetzt nicht zu beschränken oder zu definiren versuchen, so sehr man ihrer auch bedarf, sondern will lieber warten, bis das, was einstweilen wenig mehr als eine Vermuthung ist, geprüft sein und, wenn es wahr ist, durch Anderer Meinung oder Zeugniss Gewissheit erlangt haben wird.

3294. Die Combination von Magneten mit Magneten und alle daraus hervorgehenden Wirkungen (3218) stehen, soviel ich sehen kann, mit der Vorstellung von physischen Magnetkraftlinien im Einklang. Sind die Magnete sämmtlich frei beweglich, so stellen sie sich gegen einander ein und suchen sich dann zu nähern, was also in der Hauptsache darauf hinauskommt, dass die von allen diesen Quellen ausgehenden Linien zu verschmelzen, die besten Leiter zu durchsetzen und sich zu verkürzen suchen. Sind mehrere Magnete vorhanden und unter beschränkenden Bedingungen, so sind die Kraftlinien, welche durch Eisenfeilspäne abgebildet werden, sehr mannigfaltig und schön (3238), lassen sich jedoch nach den hier auf-

gestellten Principien leicht entziffern und verstehen. Da der Betrag der Kraft ein bestimmter ist, so ist ihre Uebertragung von Ort zu Ort eine vollkommen einfache Folge der veränderten Anordnung der Magnete oder der Einführung besserer oder schlechterer Leiter in die umgebenden Media.

3295. Da man Magnete als Sitz von Kraftlinienbündeln ansehen kann, so zeigen sie uns vermuthlich das Verhalten der physischen Kraftlinien, wo sie in dem umgebenden Raume auftreten, geradeso wie elektrische Ströme, mögen sie nun durch massive Drähte geleitet werden, oder wie der Volta'sche Funke oder der Funke einer Leydener Flasche die Luft oder ein Vacuum durchsetzen, in ihren wesentlichen Beziehungen identisch sind. So zeigt also die Abstossung neben einander gestellter Magnete die Neigung der magnetischen Kraftlinien, sich seitlich von einander zu trennen, an (3267). Man muss jedoch diesen Vorgang in Beziehung zu der gleichzeitigen Ansammlung von erdmagnetischen Kraftlinien in dem umgebenden Raum auf jeden Magnet, sowie auch zu dem Bestreben eines jeden Magnets, sich sein eigenes äusseres Medium zu sichern, betrachten. Der Vorgang entspricht ganz dem der seitlichen Abstossung von Eisenkugeln in einem gleichförmigen magnetischen Felde (2814) und bildet einen Uebergang zu demselben, der wiederum, indem man die Wirkung in zwei Richtungen parallel und quer zur magnetischen Axe berücksichtigt, die Erscheinungen der Abstossung mit denen der Anziehung verkettet.

3296. Wenn ich zur Erläuterung der hier betrachteten Frage von Magneten spreche, so meine ich Magnete vollkommener Beschaffenheit, d. h. solche, die sehr hart sind und ihren Magnetismus behalten, so dass weder durch einen inneren Vorgang ein Verlust oder ein Zuwachs (3224) noch irgend eine äussere Aenderung erfolgt, ausgenommen etwa ein Vorgang, der von einem solchen bedeutenden und dauernden Verlust an erregender Kraft herrührt, wie er von einer überwiegenden Aenderung der äusseren Beziehungen bedingt ist. Ungleichförmige Magnete, die zu unregelmässigen Aenderungen des Magnetismus Anlass geben können, sind von der gegenwärtigen Betrachtung ausgeschlossen.

3297. Die grosse Frage, um die es sich hier handelt, ist einfach die, ob die magnetischen Kraftlinien eine *physische Existenz* haben oder nicht. Diese Frage lässt sich vielleicht, und am Ende sogar befriedigend untersuchen, ohne dass wir in der Lage wären, auf die weiteren Fragen einzugehen, wie dieselben die magnetische Anziehung und Abstossung zu erklären vermögen, oder was für ein Zustand des Raumes, des Aethers oder der Materie es sei, durch welchen diese Linien bestehen. Wenn die Enden eines geraden Magnetstabes oder die Polaritäten einer kreisförmigen Stahlplatte (3274) in äusserer magnetischer Beziehung zu einander stehen (3257), so muss man, glaube ich, die Existenz *krummer* magnetischer Kraftlinien zugeben

(3258, 3263)[1]), und wenn dies zugestanden wird, so muss man, glaube ich, auch die physikalische Natur der Linien zugestehen. Leugnet man die äussere Beziehung der Pole oder Polaritäten, so muss man, wie mir scheint, auch die innere Beziehung leugnen, und hiermit bliebe eine ungeheure Anzahl alter und neuer Thatsachen (3070 etc.) ausgeschlossen von jeder Theorie, Hypothese, ja selbst von jeder Muthmassung, sie zu erklären.

3298. Vermuthlich lösen sich magnetische Anziehung und Abstossung in allen Formen und Fällen in die Differentialwirkung (2757) zwischen den Magneten und den Substanzen, die den Raum einnehmen und dessen magnetische Kraft modificiren, auf. Einem Magnet entspringen zunächst magnetische Kraftlinien; wenn nun ein anderer Magnet zugegen ist, so bietet er den neuen Linien in der einen Lage eine ganz ungehinderte Leitung dar, gleich einem paramagnetischen Körper, während er in der entgegengesetzten Lage ihrem Durchgang widersteht und dann einer stark diamagnetischen Substanz gleicht. Wenn also eine Quelle magnetischer Kraftlinien vorhanden ist und gleichzeitig Magnete oder andere Körper, welche die Leitungsfähigkeit des Raumes beeinflussen und ändern, so mögen die Körper, welche die meiste Kraft fortleiten können, das Bestreben haben, durch Differentialwirkungen mit den anderen die Lage anzunehmen, in der sie dies am ungehindersten thun können, sei es durch ein Richten, sei es durch Annähern, indem der beste Leiter zu dem Orte stärkster Wirkung hingeht (2757), während der schlechteste sich von demselben zurückzieht, und so die Erscheinungen der Anziehung wie der Abstossung hervorgebracht werden. Mit einer derartigen Vorstellung würde das Bestreben der magnetischen Kraftlinien, sich zu verkürzen (3266, 3280), im Einklang sein. Der Erfolg würde eintreten, gleichviel ob man annimmt, dass die physischen Kraftlinien in einem dynamischen oder statischen Zustande bestehen (3269).

3299. Da ich die Bezeichnung *magnetische Kraftlinie*, die, wie ich glaube, ein genauer Ausdruck für die Natur, den Zustand, die Richtung und den verhältnissmässigen Betrag der magnetischen Kräfte ist, als Abstraction, ohne Beziehung zu irgend einem physischen Zustand der Kräfte, gebraucht habe, so habe ich nun den Ausdruck *physische Kraftlinie* angewandt, um damit die weitere Vorstellung von ihrer physikalischen Natur zu verbinden. Das erstgenante System von Linien nehme ich auf Grund strenger experimenteller Beweise (3071 etc.) als *gesichert* an. Das andere System von Linien vertheidige ich, hauptsächlich in der Absicht, die Frage nach ihrer Existenz aufzuwerfen; und wiewohl ich die Discussion nicht

---

[1]) Als Beispiel krummer Linien siehe das zu dem centralen Ringmagnet gehörige eingeengte und zusammengedrängte Kräftesystem, Taf. IV, Fig. 6 (3275).

erhoben hätte, wenn ich sie nicht für wichtig und ihre schliessliche Lösung in bejahendem Sinne für wahrscheinlich hielte, so behandelte ich sie doch mit so viel Zurückhaltung, wie ich gegenüber jeder Schlussfolgerung, die Fragen aus den Tiefen der Wissenschaft betrifft, bewahre, wie beispielsweise gegenüber der Frage, ob es ein elektrisches Fluidum oder zwei oder gar keins gebe, oder den Fragen nach der wahren Natur eines Lichtstrahls oder der Attraction oder der Gravitation selbst oder der allgemeinen Natur der Materie.

Royal Institution,
6. März 1852.

Ueber die physischen Magnetkraftlinien.

[Royal Institution Proceedings, 11. Juni 1852.]

Oben[1]) habe ich gewisse Linien in der Umgebung eines Magnetstabes beschrieben und definirt (als diejenigen, welche durch Eisenfeilspäne, die man in der Nähe des Magnets streut, sichtbar abgebildet werden) und empfohlen, sie als einen genauen Ausdruck für die Natur, den Zustand, die Richtung und den Betrag der Kraft an einer gegebenen Stelle innerhalb oder ausserhalb des Stabes anzusehen. Damals betrachtete ich die Linien im abstracten Sinne. Ohne von dem damals Gesagten abzuweichen oder etwas umzustossen, bin ich nunmehr in die Untersuchung über die Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit einer *physischen Existenz* dieser Linien eingetreten. Diejenigen, welche die zu diesem Abschnitt der Lehre vom Magnetismus gehörigen Fragen nochmals zu erwägen wünschen, verweise ich auf zwei Abhandlungen in dem ersten Theil der Phil. Trans. für 1852[2]), welche Angaben über die *repräsentativen* Kraftlinien enthalten, und auf eine Abhandlung in dem Phil. Mag., 4. Reihe, 1852, vol. III, p. 401, welche sich mit der Frage der *physischen* Kraftlinien beschäftigt.[3])

Manche Kräfte wirken offenbar in die Ferne; ihre physische Natur ist uns unbegreiflich; dennoch erkennen wir Vieles, was an ihnen reell und positiv gewiss ist, unter Anderem einen gewissen Zustand des Raumes zwischen dem wirkenden Körper und dem, welcher die Wirkung erleidet, oder zwischen den zwei auf einander wirkenden Körpern. Solche Kräfte äussern sich in den Erscheinungen der Gravitation, des Lichtes, der Elektricität, des Magnetismus etc. Bei näherer Untersuchung findet man hinsichtlich ihrer respectiven Kraftlinien bemerkenswerthe Verschiedenheiten; dass sie jedoch in gewissen Fällen das Dasein wirklicher physischer Linien beweisen, wird die Betrachtung dieser Frage in Betreff des Magnetismus erleichtern.

Wenn zwei Körper, a und b, gegen einander gravitiren, so ist die Richtung, in welcher sie wirken, eine gerade Linie, denn einer solchen würden sie folgen, wenn sie frei beweglich wären. Die anziehende Kraft

---

[1]) Siehe oben p. 366.
[2]) Siehe oben p. 298.
[3]) Siehe oben p. 371.

wird nicht geändert, weder in Richtung noch in Grösse, wenn ein dritter Körper hinzutritt, der durch seine Gravitation oder sonstwie auf einen der ersteren oder auf beide Körper wirkt. Ein balancirter Messingcylinder gravitirt mit genau demselben Gewicht gegen die Erde, gleichviel ob er wie ein Pendel frei herabhängt oder durch andere Anziehungskräfte oder durch Spannung seitwärts gezogen wird, wie gross auch immer letztere sein mögen. Eine auf *a* ausgeübte neue Gravitationskraft beeinflusst nicht im mindesten den Betrag der Kraft, die auf *b* ausgeübt wird. Wir haben keinen Beweis, dass die Aeusserung dieser Kraft, wie gross auch die Entfernung zwischen den auf einander wirkenden Körpern ist, sei es die Entfernung zwischen Sonne und Erde oder zwischen Fixsternen, *Zeit* erfordert. Wir können uns diese Kraft kaum durch ein einzelnes Theilchen für sich vorstellen; erst durch die Gegenwart von zweien oder mehreren wird sie uns fasslich; mit dieser Vorstellung verknüpfen wir jedoch keine Wahrnehmung eines Unterschiedes in dem Charakter der Kraft in den verschiedenen Theilchen; die Wirkung aller gleichartigen Theilchen erkennen wir als *gleichwerthig*, *gegenseitig* und *gleich*. In Bezug auf die Gravitation kennen wir keinen Vorgang, der uns zu der Vorstellung einer für sich bestehenden, physischen Kraftlinie brächte, und soviel wir bisher wissen, ist die Gravitationslinie bloss eine ideale Linie, welche die Richtung darstellt, in der die Kraft wirkt.

Nehmen wir eine andere Kraftwirkung der Sonne, welche diese gegen die Erde ausübt, ihre leuchtende oder erwärmende Kraft. Strahlen (das sind Kraftlinien) durchsetzen den dazwischen liegenden Raum; diese Linien können wir jedoch durch verschiedene in ihre Bahn gestellte Media beeinflussen. Wir können ihre Richtung durch Reflexion oder Brechung ändern; wir können bewirken, dass sie in krummen oder gebrochenen Bahnen fortgehen. Wir können sie an ihrem Ursprungsort abschneiden und sie dann auffinden, ehe sie ihr Ziel erreicht haben. Sie stehen in Beziehung zur *Zeit* und brauchen 8 Minuten, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, so dass sie für sich, unabhängig von ihrer Quelle oder ihrem schliesslichen Heim bestehen können und eine deutlich bestimmte physische Existenz haben. Sie stehen in dieser Beziehung, sowie auch in Betreff ihres Zustandes an ihrem Endziel in vollstem Gegensatz zu den Linien der Schwerkraft. Die beiden Körper, welche die Grenzen einer Schwerkraftslinie bilden, sind in diesen ihren Wirkungen in jeder Hinsicht gleich, und so ist auch die Beziehung ihrer Verbindungslinie in beiden Richtungen gleich. Zwei Körper, welche die Grenzen eines Lichtstrahls bilden, haben in Beziehung zu demselben eine völlig verschiedene Wirkung; der eine ist eine Quelle, der andere ein Zerstörer der Linie, und die Linie selbst verhält sich wie ein Strom, der in einer bestimmten Richtung fliesst. In diesen beiden Fällen, der Gravitation und der Strahlung, ist der Unterschied zwischen einer abstracten und einer physischen Kraftlinie unmittelbar einleuchtend.

Wenden wir uns zur statischen Elektricität, so finden wir hier Anziehungen (und andere Wirkungen) in die Ferne wie in den vorigen Beispielen; vergleichen wir aber diese Anziehung mit der der Schwere, so zeigen sich uns auffallende Unterschiede, welche unmittelbar die Frage nach der Existenz physischer Kraftlinien treffen. Zunächst finden wir zwar auch hier, dass die Wirkung der Körper, welche die Grenzen oder Endigungen der Anziehungslinien bilden, wechselseitig und gleichwerthig ist, aber sie verhalten sich nicht gleich; im Gegentheil befinden sie sich, obschon jeder von ihnen, allgemein gesprochen, mit einer Kraft von gleicher Natur begabt ist, dennoch in solchem Gegensatze zu einander, dass ihre Wirkungen auf einen dritten Körper in einem dem ihrigen gleichen Zustande einander genau umgekehrt sind: was der eine anzieht, stösst der andere ab; die Kraft selbst offenbart sich als Aeusserungen eines Agens von dualer und antithetischer Beschaffenheit. Nun kann bei solchen dualen Agentien niemals Anziehung stattfinden, wenn nicht die beiden Zustände der Kraft gegenwärtig und gleichsam mittelst Kraftlinien einander gegenüber sind. Eine andere wesentliche Schranke ist die, dass diese beiden Zustände von genau gleichem Betrage sein müssen, nicht bloss was ihre Anziehungswirkung betrifft, sondern auch in jeder anderen Hinsicht; denn es ist unmöglich, eine Anordnung zu treffen, die es gestattete, mehr Elektricität der einen Art in die Erscheinung zu rufen oder zu entwickeln, als von der anderen Art. Eine fernere Schranke ist, dass sie in physikalischer Beziehung zu einander stehen müssen, und dass diese, wenn eine positiv und eine negativ elektrisirte Fläche derart mit einander combinirt sind, nicht anders aufgehoben werden kann, als durch Fortleitung dieser Oberflächenkräfte zu gleich grossen aber entgegengesetzten Kräften, die irgendwo sonst erregt worden sind. Eine weitere Beschränkung ist, dass der Betrag der Kraft begrenzt ist. Wenn eine Kugel a mit 10 Einheiten positiver Elektricität geladen ist, so kann sie mit diesem Kraftbetrage auf eine mit 10 Einheiten negativer Elektricität geladene Kugel b wirken; nimmt man ersterer jedoch 5 Einheiten mittelst eines dritten Körpers c, der mit negativer Elektricität geladen ist, so kann dieser bloss mit 5 Einheiten auf die Kugel a wirken, und diese Kugel muss anderweitig 5 positive Einheiten finden oder entwickeln. Nichts dergleichen geschieht bei der Gravitation, die vielmehr eine Kraft ist, welche nichts von einer Dualität an sich hat. Endlich wirkt die elektrische Kraft in krummen Linien. Befindet sich eine abgeleitete runde Metallplatte einer positiv elektrisirten und in freier Luft isolirten Kugel gegenüber in einem Abstande von 12 bis 15 Zoll, so wird erstere aus oben erwähntem Grunde nothwendig einen negativen Zustand annehmen; die Platte ist jedoch nicht bloss an der der Kugel zugewandten Seite negativ, sondern auch an der anderen, der Aussenfläche, wie sich mittelst eines Probescheibchens oder eines von dieser Fläche herabhängenden Streifens von Gold- oder Silberblatt zeigen lässt. Nun geht aber die auf diese Fläche

wirkende Kraft nicht durch die abgeleitete Platte hindurch — denn das dünnste Goldblättchen vermag die Inductionswirkung zu hemmen —, sondern rings um den Rand der Fläche, und wirkt somit in krummen Linien. Alle diese Erscheinungen weisen auf die Existenz physischer Kraftlinien hin; die absolut wesentliche Beziehung positiver und negativer Flächen zu einander, ihre Abhängigkeit von einander gegenüber der bekannten Beweglichkeit der Kräfte lassen keinen anderen Schluss zu. Auch die Wirkung in krummen Linien muss von physischen Kraftlinien bedingt sein. Endlich führt eine dritte wichtige Eigenschaft der Kraft zu demselben Resultat, nämlich die Einwirkung, welche sie durch Media von verschiedener specifischer Inductionscapacität erleidet.

Gehen wir zur dynamischen Elektricität über, so erweist sich das Dasein von physischen Kraftlinien noch weit deutlicher. Eine Volta'sche Batterie, deren Enden durch ein leitendes Medium mit einander verbunden sind, liefert ein Etwas, was man einen Kraftstrom genannt hat, der die Kette durchläuft, aber dieser Strom ist eine Kraftaxe von gleichen und entgegengesetzten Eigenschaften in entgegengesetzten Richtungen. Er besteht aus Kraftlinien, welche sich gemäss der Querwirkung des Leiters, deren Richtung sich mit der Form des Leiters ändert, zusammendrängen oder ausweiten, sich an jeder Stelle des Leiters vorfinden und jeder Stelle desselben durch geeignete Canäle entnommen werden können, und Niemand zweifelt, dass dies physische Kraftlinien sind.

Was endlich einen Magnet betrifft, der das Ziel dieser Discussion ist, so stellt er in sich selbst ein vollkommenes Kräftesystem dar, das also durch seine eigenen wechselseitigen Beziehungen zu existiren vermag. Es hat den dualen und antithetischen Charakter, der der statischen sowohl als der dynamischen Elektricität zugehört, und der sich in dem offenbart, was man die Polaritäten des Magnets nennt, also durch die entgegengesetzten Eigenschaften ähnlicher Natur an seinen Enden und in der Nähe derselben. Diese Kräfte zeigen sich absolut gleich gross; der Betrag der einen kann nicht geändert werden ohne eine entsprechende Aenderung der anderen, und dies gilt nicht bloss für die Polaritäten eines und desselben Magnets, sondern auch für die Beziehungen eines Magnets zu anderen Magneten. Die Polaritäten oder der *Nordmagnetismus* und *Südmagnetismus* eines Magnets stehen nicht bloss durch den Magnet selbst oder innerhalb desselben zu einander in Beziehung, sondern auch nach aussen zu entgegengesetzten Polaritäten (nach Art der elektrostatischen Induction); anders können sie überhaupt nicht existiren. Diese äussere Beziehung hat die Bedeutung, dass sie nothwendig eine genau gleiche Stärke der neuen, denen des Magnets entgegengesetzten Polaritäten fordert. Wenn also die Kraft eines Magnets a zu der eines zweiten Magnets b in Beziehung gesetzt wird, so kann er nicht auf einen dritten Magnet c wirken, ohne b einen seiner Wirkung auf c entsprechenden Wirkungsbetrag zu entziehen. Durch den bewegten Draht

lässt sich zeigen, dass die Kraftlinien sowohl innerhalb als ausserhalb des Magnets existiren, dass sie geschlossene Curven bilden, deren Bahn an einer Stelle durch den Magnet geht; die Kraftmenge der im Innern des Magnets verlaufenden Linien an seinem Aequator ist genau gleich der Kraftmenge in irgend einem durch die Gesammtheit der ausserhalb verlaufenden Linien gelegten Querschnitt. Die Richtung der ausserhalb eines Magnets verlaufenden Linien kann durch mannigfache Media, die in ihre Bahn gestellt werden, geändert werden. Wir können uns durchaus keinen Magnet mit nur einer Art des Magnetismus oder mit dem geringsten Ueberschuss des Nordmagnetismus über den Südmagnetismus oder umgekehrt herstellen. Werden die Polaritäten eines Magnets nicht nach aussen hin in Beziehung gesetzt zu den Kräften anderer Magnete, so stehen sie zu einander in Beziehung, d. h. der Nordmagnetismus und Südmagnetismus eines einzelnen Magnets bedingen und erhalten sich gegenseitig.

Alle diese Thatsachen und viele andere weisen auf die Existenz physischer Kraftlinien sowohl ausserhalb als innerhalb des Magnets hin. Sie bilden sowohl krumme als gerade Linien; denn bei einem geraden Magnetstab oder besser noch bei einer runden Stahlscheibe, die regelmässig magnetisirt ist, so dass ihre magnetische Axe mit einem Durchmesser zusammenfällt, müssen die Polaritäten aussen offenbar durch krumme Kraftlinien zu einander in Beziehung stehen, da eine Gerade zwei Punkte mit Nord- und Südmagnetismus nicht mit einander verbinden kann. Krumme Kraftlinien aber können, glaube ich, nur solche sein, die eine physische Existenz haben.

Diesen Schluss bekräftigen auch die mit dem bewegten Draht erhaltenen Erscheinungen. Wird der Draht quer zu den Kraftlinien bewegt, so durchläuft ihn ein elektrischer Strom oder sucht ihn zu durchlaufen, während, ehe der Draht in Bewegung gesetzt wird, kein Strom vorhanden ist. In dem ruhenden Draht circulirt kein Strom; und wenn er bewegt wird, so braucht er nicht zu Orten grösserer oder kleinerer magnetischer Kraft zu gehen, sondern er kann sich in einer solchen Bahn bewegen, dass eine Magnetnadel, die in derselben Bahn hingeführt würde, magnetisch völlig unbeeinflusst bliebe, d. h. es würde gar keinen Unterschied machen, ob die Magnetnadel bewegt würde oder nicht. Man kann es so einrichten, dass der ruhende Draht dieselbe diamagnetische Kraft habe wie das den Magnet umgebende Medium und so in keiner Weise die durch beide gehenden Kraftlinien störe, und dennoch entsteht ein Strom in dem Draht, sobald er bewegt wird. Die Bewegung an und für sich kann den Strom nicht hervorbringen; sondern es musste rings um den Magnet ein Zustand bestanden haben und durch ihn unterhalten worden sein, in dessen Bereich sich der Draht befand, und dieser Zustand weist auf die physische Constitution der magnetischen Kraftlinien hin.

Was das für ein Zustand ist, oder wovon er bedingt ist, lässt sich vorläufig nicht sagen. Er kann, wie ein Lichtstrahl, vom Aether bedingt

sein, und es ist ja auch bereits ein Zusammenhang zwischen Licht und Magnetismus dargethan worden. Es kann ein Spannungszustand oder ein Schwingungszustand oder am Ende ein dem elektrischen Strome analoger Zustand sein, zu dem die magnetischen Kräfte in inniger Beziehung stehen. Ob er zu seiner Erhaltung nothwendig Materie erfordert, wird davon abhängen, was man unter dem Ausdruck Materie versteht. Beschränkt man ihn auf ponderable oder der Schwere unterworfene Substanzen, dann ist Materie für die physischen magnetischen Kraftlinien nicht wesentlicher als für einen Licht- oder Wärmestrahl; wenn wir aber den hypothetischen Aether als eine Art von Materie auffassen, so können die Kraftlinien von irgend einer Function desselben abhängen. Erfahrungsgemäss ist der leere Raum magnetisch; man muss jedoch annehmen, dass er von Aether erfüllt sei, wenn man diese Vorstellung überhaupt zulässt; oder wenn man sich einst eine andere Vorstellung von dem Zustande oder der Beschaffenheit des leeren Raumes bilden sollte, so muss er an die Stelle dessen treten, was man jetzt auf Grund der Erfahrung leeren Raum nennt. Uebrigens ist es, glaube ich, eine feststehende Thatsache, dass ponderable Materie für die Existenz physischer Magnetkraftlinien nicht wesentlich ist.

Ueber die magnetischen Beziehungen und Charaktere der Metalle.[1])

In zwei früheren Mittheilungen im Philosophical Magazine[2]) über die magnetischen Charaktere der Metalle im Allgemeinen und die Temperaturen, bei welchen sie die Fähigkeit magnetisch zu werden verlieren oder erlangen, sagte ich, dass nur Eisen und Nickel diese Fähigkeit hätten, während ich sie beim reinen Cobalt nicht finden konnte. Hierin war ich im Irrthum; Cobalt theilt, wie bereits Andere bemerkt haben, diese Eigenschaft mit Eisen und Nickel. Ich suchte das Stück Cobalt, mit dem ich die Versuche angestellt hatte, und das ich für rein hielt, kann es jedoch nicht finden und bin daher nun nicht im Stande, die Ursache meines Irrthums zu ermitteln, wiewohl es jedoch nicht zu spät ist, diesen selbst zu berichtigen.

Durch Percy's und Askin's Güte habe ich neuerdings mit zwei von Letzterem präparirten schönen Stücken reinen Cobalts experimentiren können; beide waren wohl geschmolzene und vollkommen blanke Stücke. Dieses Metall wird unter dem Einfluss eines Magnets oder eines elektrischen Stromes stark magnetisch und vermag mehr als sein eigenes Gewicht zu tragen. Gleich weichem Eisen und Nickel behält es seinen Magnetismus nicht, sobald die inducirende Kraft entfernt wird.

Es war für mich von grossem Interesse, zu ermitteln, ob und bei welcher Temperatur Cobalt diese Eigenschaft verlieren und den unmagnetischen Metallen gleich werden würde. Zu meiner Ueberraschung fand ich dieselbe sehr hoch, nicht bloss viel höher als beim Nickel, sondern auch noch weit höher als beim Eisen und Stahl, und zwar war sie nahezu die Temperatur des schmelzenden Kupfers. Beim Eisen ist die erforderliche Temperatur die einer mässigen Rothgluth und beim Nickel nur die des siedenden Oels. Wenn die Temperatur steigt, so bleibt der Magnetismus des Cobalts bis zu einem gewissen Wärmegrade anscheinend ungeschwächt und verschwindet dann plötzlich, um ebenso plötzlich wiederzukehren, wenn man von noch höheren Temperaturen herabgeht.

---

[1]) Philosophical Magazine, Juli 1845.

[2]) 1836, vol. VIII, p. 177 und 1839, vol. XIV, p. 161 oder Experimental-Untersuchungen, vol. II, 195, 200.

Das Cobaltoxyd, das durch Verbrennung des Metalles auf Kohle unter Anwendung eines Sauerstoffstromes als ein geschmolzenes Kügelchen erhalten wurde, war nicht magnetisch.

Das Nickeloxyd ist weder in der Wärme noch in der Kälte magnetisch; beim Erwärmen ist jedoch Vorsicht nöthig, dass es sich nicht reducire. Es kommt oft vor, dass es sich in der Flamme einer Weingeistlampe, insbesondere an dem unteren Theile erhitzt, als nicht magnetisch erweist, während es dann bei Abnahme der Temperatur magnetisch wird; dies rührt jedoch daher, dass von dem Oxyd an den Rändern oder sonstwo etwas zu Metall reducirt wird, und es zeigt somit die Eigenschaften des *Metalles* bei Temperaturen über und unter dem magnetischen Punkt.

Mangan. — Ich erhielt ein von Thomson hergestelltes und als rein angesehenes Stück Mangan, das jedoch eine Spur Eisen enthielt und wahrscheinlich nur in Folge seines geringen Eisengehaltes schwach magnetisch war. Unter Einwirkung eines Sauerstoffstromes verbrannte es auf Kohle unter Funkensprühen, einigermassen ähnlich wie Eisen, und verwandelte sich in Oxyd, das sich entweder als poröse weisse oder als dichte, compacte, in dünnen Schichten durchsichtige, braune Masse erhalten lässt; es erwies sich jedoch in keinem dieser Zustände magnetisch.

Ich brachte hierauf Mangan, Chrom und viele andere Metalle und sonstige Körper auf die niedrigste Temperatur[1]), die ich mittelst eines Gemisches von Aether und fester Kohlensäure im Vacuum erhalten konnte[2]), also auf eine Temperatur, die nicht höher war als 156° F unter Null, aber keiner nahm den magnetischen Zustand an. Folgende Körper sind der Untersuchung unterworfen worden:

Platin,	Spiegelmetall,
Gold,	Graphit,
Silber,	Gasretortenkohle,
Palladium,	Eisenschaum,
Kupfer,	Operment,
Zinn,	Realgar,
Blei,	Schwefelantimon,
Cadmium,	Schwefelwismuth,
Zink,	Schwefelkupfer,
Rhodium,	Schwefeleisen,
Mangan,	Schwefelblei,
Chrom,	Schwefelsilber,
Titan,	Schwefelzinn,
Osmium-Iridium,	Spatheisenstein,

---

[1]) Philosophical Magazine, 1839, vol. XIV, p. 162, oder Experimental-Untersuchungen, vol. II, p. 201.

[2]) Philosophical Transactions, 1845, pp. 157, 158.

Antimon,	Berliner Blau,
Arsen,	Krystallisirter Eisenvitriol,
Wismuth,	Calomel,
Leichtflüssiges Metall,	Chlorsilber,
Chlorblei,	Wismuthoxyd,
Arsenige Säure,	Zinnoxyd (natürliches),
Antimonige Säure,	Manganoxyd (natürliches).
Bleioxyd,	

Es scheint demnach, dass unter den Metallen neben dem Eisen bloss Nickel und Cobalt magnetisch sind oder wie das Eisen magnetisirt werden können; nichtsdestoweniger erhöht gerade der Umstand, dass auch das Cobalt magnetisch ist und insbesondere, dass eine so hohe Temperatur erforderlich ist, um es dieser Eigenschaft zu berauben, die Wahrscheinlichkeit[1]), dass diese Eigenschaft allen Metallen gemeinsam ist, und dass bloss die Temperatur einen Unterschied zwischen jenen und den übrigen macht, wie erstere in dieser Hinsicht auch unter einander verschieden sind.

Im Hinblick auf diese Wirkung der Wärme ist zu bemerken (und ist vielleicht bereits hervorgehoben worden), dass bei Annahme einer hohen Temperatur für das Erdinnere, offenbar schon in einer im Vergleich zum Erddurchmesser geringen Tiefe unter der Erdoberfläche die die Erde zusammensetzenden Substanzen keinen Magnetismus von der Stärke eines Magnets besitzen können, und dass in einer etwas grösseren Tiefe keine von ihnen auch nur soviel Magnetismus zurückbehalten kann, als durch Induction magnetisirtes weiches Eisen. Demnach kann der Magnetismus der Erde, sie mag nun an und für sich ein Magnet sein, wie der Magneteisenstein, oder es durch Inductionswirkung äusserer magnetischer Massen, beispielsweise der Sonne, geworden sein, seinen Sitz nur in der Erdrinde haben. Nimmt man mit Ampère an, dass der Magnetismus der Erde von elektrischen Strömen herrührt, die sie parallel zum Aequator umkreisen, dann würden natürlich die obigen Bemerkungen über den Einfluss der Wärme keine Anwendung finden.

Royal Institution,
7. Juni 1845.

---

[1]) Philosophical Magazine, 1836, vol. VIII, p. 177, oder Experimental-Untersuchungen II, 201.

Gedanken über Schwingungsstrahlen.[1])

An Richard Philipps, Esq.

Werther Herr,

Ihrem Wunsche gemäss will ich versuchen, Ihnen darzulegen, was ich gelegentlich meiner Mittheilung über Wheatstone's elektromagnetisches Chronoskop am Schlusse der letzten Freitag-Abend-Sitzung zu sagen wagte. Allein ich muss vorausschicken, dass es von Anfang bis zu Ende nur vage Vorstellungen, Speculationen sind, die ich nicht als Ergebniss hinlänglicher Ueberlegung oder als feststehende Ueberzeugung oder auch nur als Wahrscheinlichkeitsschlüsse, zu denen ich gelangt wäre, hinstelle.

Der Punkt, auf den ich das Nachdenken meiner Zuhörer lenken wollte, war der, ob es nicht möglich sei, dass die Schwingungen, welche eine gewisse Theorie zur Erklärung der Strahlung und Strahlungserscheinungen annimmt, in den Kraftlinien, welche materielle Theilchen also auch materielle Massen mit einander verbinden, vor sich gehen. Diese Vorstellung würde, soweit sie zugelassen wird, den Aether entbehrlich machen, der einer anderen Ansicht nach als das Medium angesehen wird, in dem diese Schwingungen stattfinden.

Sie kennen die Speculation[2]), welche ich vor einiger Zeit an die Ansicht über die Natur der Materie knüpfte, welche deren letzte Atome als Kraftcentra betrachtet und nicht als ebenso viele, von Kräften umgebene kleine Körperchen, die man sich als unabhängig von den Kräften und fähig, ohne sie zu existiren, denkt. Nach dieser letzteren Ansicht haben diese kleinen Partikel eine bestimmte Gestalt und eine gewisse endliche Grösse; nach der ersteren ist dies nicht der Fall; denn was man sich als Grösse vorstellt, kann als eine Durchdringung bis zu jeder beliebigen Entfernung, bis zu welcher die Kraftlinien sich ausbreiten, angesehen werden; danach kann das Theilchen nur durch diese Kräfte existiren, und wo diese sind, ist jenes. Die Auffassung der Materie unter diesem Gesichtspunkte

---

[1]) Philosophical Magazine, Ser. 3, vol. XXVIII, No. 188, May 1846.
[2]) Ibid. 1844, vol. XXIV, p. 136, oder Exp.-Untersuch. II, p. 255.

führte mich allmählich zu der Erwägung, ob nicht am Ende die Kraftlinien der Sitz der Schwingungen der Strahlungserscheinungen seien.

Eine andere Betrachtung, welche zu der Hypothese über den Zusammenhang der Materie und der Strahlung führt, ergiebt sich aus einer Vergleichung der Geschwindigkeiten, mit denen die Strahlungsvorgänge und gewisse Kräfte der Materie sich fortpflanzen. Die Geschwindigkeit, mit welcher das Licht den Raum durcheilt, beträgt 190 000 Meilen in der Secunde; die Geschwindigkeit der Elektricitätsbewegung ist nach den Versuchen von Wheatstone ebenso gross, wenn nicht grösser. Das Licht denkt man sich durch Schwingungen des Aethers fortgepflanzt, der, so zu sagen, ohne Schwere, aber unendlich elastisch ist; die Elektricität pflanzt sich durch einen dünnen Metalldraht fort, und es ist eine verbreitete Ansicht, dass dies ebenfalls durch Schwingungen erfolgt. Dass die elektrische Fortpflanzung von den Kräften oder Eigenschaften der Substanz des Drahtes abhängt, kann schwerlich bezweifelt werden, wenn man bedenkt, wie verschieden die Leitungsfähigkeit der Metalle und anderer Körper ist; dass dieselbe durch Wärme oder Kälte beeinflusst wird; dass leitende Körper, wenn sie eine Verbindung eingehen, zu nichtleitenden werden können und umgekehrt, und dass es einen elementaren Körper, den Kohlenstoff, sowohl in leitendem als nichtleitendem Zustande giebt. Die elektrische Leitungsfähigkeit (also eine Fortpflanzung von Kraft mit der Geschwindigkeit des Lichtes) scheint an die Eigenschaften der Materie gebunden zu sein und auf ihnen zu beruhen und existirt gleichsam in ihnen.

Ich denke, wir dürfen die Substanz des Aethers und gewöhnliche Materie (beispielsweise das Kupfer des Drahtes, durch welchen die Elektricität geleitet wird) nebeneinander stellen und in ihrer wesentlichen Constitution als gleich ansehen, d. h. beide entweder aus kleinen Kernen zusammengesetzt, die man sich abstract als Materie und mit Kräften oder Eigenschaften begabt denkt, oder, nach Boscowich's Theorie und der von mir in meiner speculativen Betrachtung vertretenen Ansicht, aus blossen Kraftcentren bestehend; denn es ist nicht einzusehen, dass wir der Kerne in dem einen Falle mehr als in dem anderen bedürfen. Freilich ist das Kupfer der Schwere unterworfen, der Aether jedoch nicht, das Kupfer also eine ponderable Substanz, der Aether nicht, allein dies kann für das Vorhandensein von Kernen in dem Kupfer nicht mehr geltend gemacht werden, als für den Aether; denn von allen Kräften der Materie ist die Schwere die einzige, welche sich in die grösstmögliche Entfernung von dem vermeintlichen Kerne erstreckt, die im Vergleich zu der Grösse des letzteren unendlich ist und diesen zu einem blossen Kraftcentrum reducirt. Das kleinste materielle Atom auf der Erde wirkt direct auf das kleinste materielle Atom der Sonne, obschon sie 95 000 000 Meilen von einander entfernt sind; ja Atome, die, soviel wir wissen, wenigstens neunzehnmal so weit, ja noch viel weiter von einander entfernt sind, wie bei den Kometen, sind ebenso durch

die ihnen zugehörigen und von ihnen ausgehenden Kraftlinien mit einander verknüpft. Was giebt's demnach Besonderes in der Beschaffenheit der Theilchen des hypothetischen Aethers, wenn es zwischen uns und der Sonne auch nur *ein* Theilchen giebt, das an Feinheit und Ausdehnung mit jenen zu vergleichen ist?

Lassen wir uns durch die *Ponderabilität* und *Gravitation* der schweren Massen nicht irre machen, als ob jene Eigenschaften das Dasein der abstracten Kerne bewiesen; denn nicht von diesen sind sie bedingt, sondern von der Kraft, die man den Kernen zuschreibt, wenn sie überhaupt existiren; und wenn die *Aether*theilchen, wie man annimmt, diese Kraft nicht besitzen, so sind sie, im abstracten Sinne, mehr materiell als die Theilchen unseres Erdballs. Denn da die Materie, wie man annimmt, aus Kernen und Kraft besteht, so haben hiernach die Aethertheilchen mehr von dem Kern als von der Kraft an sich.

Andererseits ist die unendliche Elasticität, die man den Aethertheilchen zuschreibt, eine ebenso augenfällige und positive Kraft, als es die Schwere der ponderablen Theilchen ist, und bringt in ihrer Art ebenso grosse Wirkungen hervor; zum Zeugniss dessen haben wir alle die Mannigfaltigkeiten des strahlenden Agens, wie es sich in den Licht-, Wärme- und actinischen Erscheinungen äussert.

Vielleicht bin ich im Irrthum, wenn ich denke, dass die Vorstellung, die man sich allgemein von dem Aether macht, die ist, dass seine Kerne fast unendlich klein, und dass die Kraft, die er besitzt, seine Elasticität, unendlich gross ist. Allein, wenn dies wirklich die allgemeine Vorstellung ist, was bleibt dann für den Aether ausser Kraft oder Kraftcentren noch übrig? Da er nicht Schwere und Starrheit besitzt, so werden Manche am Ende diesen Schluss zugeben; allein was bedeuten Schwere und Starrheit? Sicherlich nicht das Gewicht und die Berührung der abstracten Kerne. Das eine ist die Folge einer *anziehenden* Kraft, die in so grosse Fernen wirken kann, als der Menschengeist nur zu denken vermag, und die andere die Folge einer *abstossenden* Kraft, welche verhindert, dass zwei Theilchen sich je wirklich berühren. Demnach können diese Kräfte oder Eigenschaften durchaus Niemanden, der sich den Aether nur aus Kraft bestehend denkt, dazu führen, sich von der ponderablen Materie eine andere Vorstellung zu bilden, ausgenommen, dass sie mit mehreren und anderen *Kräften* begabt sei als der Aether.

Die Experimentalphysik lehrt uns in den Erscheinungen verschiedene Arten von Kraftlinien kennen; so unterscheiden wir Linien der Schwerkraft, der elektrostatischen Induction, der magnetischen Kraft, denen man am Ende noch andere von dynamischem Charakter zuzählen könnte. Viele nehmen an, dass die elektrischen und magnetischen Kraftlinien durch den Raum hin wirken wie die Schwerkraftslinien. Ich für meine Person neige zu der Annahme, dass, wo materielle Theilchen (sie selbst als blosse Kraft-

centra betrachtet) in dem Zwischenraum vorhanden sind, sie an der Uebertragung der Kraft durch die Linie theilhaben, wo es aber keine giebt, die Linie durch den Raum fortschreitet.[1]) Welche Ansicht wir uns auch über dieselben bilden, unter allen Umständen können wir diese Kraftlinien beeinflussen, und die Einwirkung können wir uns nach Art einer Erschütterung oder einer Seitenschwingung vorstellen. Denn denken wir uns zwei von einander entfernte Körper A B, die auf einander wirken und daher durch Kraftlinien mit einander verknüpft sind, und heften unsere Aufmerksamkeit auf Eine resultirende Kraft, die in Bezug auf den Raum eine unveränderliche Richtung habe; wenn nun einer der Körper sich im geringsten nach rechts oder links bewegt oder seine Kraft im Innern der Masse für einen Augenblick verschoben wird (es ist nicht schwer, diese Fälle zu verwirklichen, wenn A und B elektrische oder magnetische Körper sind), so wird eine Wirkung entstehen, die einer seitlichen Störung der Resultirenden, die wir in's Auge gefasst hatten, gleichkommt; denn entweder wird ihre Intensität zunehmen und die der benachbarten Resultirenden abnehmen, oder umgekehrt.

Man kann fragen, was denn eigentlich die Kraftlinien, die geeignet sind, eine solche Wirkung fortzuführen und in der Vibrationstheorie die Stelle des Aethers zu ersetzen, in der Natur sind. Ich behaupte nicht, diese Frage mit einiger Zuversicht beantworten zu können; alles, was ich zu sagen vermag, ist, dass ich mir im Raume, er mag (um mich des gewöhnlichen Ausdrucks zu bedienen) leer oder mit Materie erfüllt sein, nirgends etwas Anderes als Kräfte und die Linien, in denen sie sich äussern, denke. Die Schwer- oder Schwerkraftslinien erstrecken sich sicherlich weit genug, um jeder Anforderung, die man im Hinblick auf die Strahlungserscheinungen in dieser Hinsicht an sie stellen kann, zu genügen, und so ist es wahrscheinlich auch mit den magnetischen Kraftlinien. Und dann, wer kann vergessen, dass Mossotti gezeigt hat, dass Gravitation, Cohäsion, elektrische Kraft und elektrochemische Wirkung sämmtlich einen Zusammenhang oder gemeinsamen Ursprung haben dürften, und dass sie demnach auch hinsichtlich ihrer Wirkung in die Ferne jenen unendlichen Spielraum haben, wie es uns von einigen dieser Wirkungen bekannt ist?

Die Ansicht, welche ich aufzustellen so kühn bin, betrachtet also die Strahlung als eine mächtige Art von Schwingung in den Kraftlinien, die, wie wir wissen, materielle Theilchen und Massen mit einander verknüpfen. Sie lässt den Aether entbehrlich erscheinen, aber nicht die Schwingungen. Die Art der Schwingung, welche, wie ich glaube, allein die wundervolle Mannigfaltigkeit und Schönheit der Polarisationserscheinungen zu erklären vermag, ist nicht dieselbe, wie die, welche auf der gestörten Wasseroberfläche oder

---

[1]) Experimental-Untersuchungen über Elektricität, Art. 1161, 1613, 1663, 1710, 1729, 1735, 2443.

in den Schallwellen in Gasen und Flüssigkeiten auftritt; denn diese Schwingungen erfolgen in gerader Richtung oder von dem Wirkungsmittelpunkte fort und zu ihm hin, während jene seitliche sind. Es scheint mir, dass die Resultirende zweier oder mehrerer Kraftlinien sich gerade in dem Zustande befindet, um einen Vorgang zu geben, der einer *seitlichen* Schwingung gleichzusetzen sein dürfte, während ein gleichförmiges Medium wie der Aether hierzu nicht geeignet oder nicht geeigneter als Luft oder Wasser zu sein scheint.

Eine Aenderung an dem einen Ende einer Kraftlinie führt natürlich zu der Annahme einer daraus folgenden Aenderung an dem anderen Ende. Die Fortpflanzung des Lichtes und wahrscheinlich aller Strahlungsvorgänge erfordert *Zeit*, und wenn die Strahlungserscheinungen durch Schwingungen der Kraftlinien erklärt werden sollen, so müssen auch solche Schwingungen nothwendig Zeit brauchen. Ob es Thatsachen giebt, durch welche man ermittelt hat oder ermitteln könnte, ob eine Kraft wie die Gravitation zu ihrer Wirkung keine Zeit brauche, oder ob Zeit nothwendig sei, damit eine seitliche Störung an dem einen Ende von Kraftlinien, wie ich sie oben vorausgesetzt habe, sich an dem anderen Ende bemerklich mache, oder es hier nothwendig augenblicklich geschehe, weiss ich nicht.

Was diejenige Beschaffenheit der Kraftlinien betrifft, welche der vorausgesetzten hohen Elasticität des Aethers entsprechen soll, so kann man daraus keinen Mangel herleiten. Die Frage scheint mir vielmehr die zu sein, ob die Kraftlinien träge genug in ihrer Wirkung seien, um sie hinsichtlich der Zeit, welche erfahrungsgemäss die strahlende Kraft zu ihrer Fortpflanzung braucht, dem Aether gleichzusetzen.

Man nimmt an, dass der Aether alle Körper sowie den Raum durchdringt. Nach der hier vorgebrachten Ansicht sind es die Kräfte der Atomcentra, welche alle Körper durchsetzen (und ausmachen) und auch allen Raum durchdringen. Was den Raum betrifft, so ist der Unterschied der, dass der Aether aus successiven Theilchen oder Wirkungsmittelpunkten besteht, nach der vorliegenden Annahme aber sind es bloss Wirkungslinien. In Bezug auf die Materie besteht der Unterschied darin, dass der Aether zwischen den Theilchen sich befindet und so die Schwingungen fortpflanzt, während nach meiner Annahme die Schwingung sich durch die Kraftlinien zwischen den Mittelpunkten der Theilchen fortsetzt. Was ferner den Unterschied in der Stärke der Wirkung nach den beiden Auffassungen der Materie betrifft, so dürfte es schwierig sein, irgend einen Schluss zu ziehen; denn betrachten wir den einfachsten Zustand der gewöhnlichen Materie, durch den sie der Constitution des Aethers am nächsten kommt, nämlich den Zustand eines verdünnten Gases, — wie bald finden wir in seiner Elasticität und der gegenseitigen Abstossung seiner Theilchen eine Abweichung von dem Gesetz, dass die Wirkung sich umgekehrt verhalte wie das Quadrat der Entfernung!

Und nun, mein lieber Philipps, muss ich schliessen. Ich glaube nicht, dass mir diese Bemerkungen entschlüpft wären, wenn ich nicht wider Willen und ohne vorheriges Nachdenken durch die besonderen Umstände, die mich an jenem Abend veranlassten, plötzlich zu erscheinen und eines Anderen Stelle zu vertreten, hierzu verleitet worden wäre. Nun da ich sie zu Papier gebracht, fühle ich, dass ich sie viel länger hätte zurückbehalten sollen, um sie zu durchdenken, wieder zu erwägen und zuletzt vielleicht zu verwerfen; nur weil sie doch, nachdem ich sie einmal an jenem Abend geäussert habe, sicherlich auf dem einen oder anderen Wege in die Oeffentlichkeit dringen, gebe ich ihnen eine Gestalt, wenn man diese Erwiderung Ihrer Frage so nennen kann. Eines ist gewiss: dass jede Hypothese über Strahlung, welche als ausreichend angenommen oder festgehalten werden soll, sich nicht bloss auf die Erklärung gewisser Lichterscheinungen beschränken darf, sondern auch die Wärme- und actinischen Wirkungen, ja sogar die Erscheinungen, bei denen merkliche Wärmemengen und zugleich chemische Kräfte auftreten, wird umfassen müssen. In dieser Hinsicht dürfte am Ende eine Ansicht, welche sich einigermassen auf die gewöhnlichen Kräfte der Materie gründet, unter den anderen Ansichten, die man wahrscheinlich aufstellen wird, ein wenig Beachtung finden. Wahrscheinlich habe ich auf den vorstehenden Seiten manchen Missgriff begangen, denn auch mir selbst erscheinen meine Gedanken über diesen Gegenstand bloss als der Schatten einer Speculation, oder als einer jener Einfälle, die man eine Zeit lang als Führer zu weiterem Nachdenken und Forschen gelten lassen darf. Wer experimentell arbeitet, weiss, wie zahlreich dieselben sind, und wie oft ihre scheinbare Tauglichkeit und Schönheit vor der fortschreitenden Aufdeckung des wahren natürlichen Sachverhaltes dahinschwindet.

Ich bin, mein lieber Philipps,

Ihr stets ergebener

M. Faraday.

Royal Institution,
15. April 1846.

Ueber die Einwirkung des Magnetismus auf das Licht und über den Unterschied zwischen den ferromagnetischen und diamagnetischen Zuständen der Materie.[1])

Wenn ein Strahl polarisirten Lichtes und magnetische Kraftlinien gleichzeitig und parallel zu einander durch ein durchsichtiges starres oder flüssiges nicht doppeltbrechendes Medium gehen, so wird der Strahl nach einem einfachen Gesetze, das ich in der letzten Abtheilung der Philosophical Transactions[2]) ausgesprochen habe (2160, 2161), gedreht. Geht ein solcher Strahl durch Bergkrystall gewisser Sorten, Terpentinöl u. s. w., so wird er ebenfalls, doch ganz unabhängig von einer magnetischen Kraft, nach einem wohlbekannten Gesetze gedreht. Zwischen diesen beiden Drehungserscheinungen besteht, wiewohl sie im ersten Augenblick gleich zu sein scheinen, ein ganz augenfälliger Unterschied; denn im ersteren Falle ist die Drehungsrichtung abhängig von den magnetischen Kraftlinien, aber nicht von der Stellung des Beobachters oder dem Lauf des Lichtstrahls, während sie im letzteren Falle wohl von der Stellung des Beobachters oder der Bahn des Lichtstrahls abhängig ist.

Bei weiterem Nachdenken schien es, dass die Eigenthümlichkeit der magnetischen Drehung benutzt werden könnte, um den schliesslichen Effect der magnetischen Kraft auf den Lichtstrahl zu steigern und dass man so auch manche wichtigen Punkte in deutlicherer Weise und verstärkterem Grade zur Darstellung bringen könnte, als es bisher möglich war. Der Versuch bestätigte die Richtigkeit des Gedankens. Im Folgenden sind einige der Resultate wiedergegeben.

Ein Stück schweren Glases in Gestalt eines Parallelopipeds von 0,7 Quadratzoll Querschnitt und 0,2 Zoll Länge wurde an den beiden Enden eben geschliffen und versilbert und die Silberbelegung dann von einer Stelle beider Endflächen bis zu 0,1 Zoll Abstand von den Rändern entfernt, jedoch so, dass die frei gelegten Stellen sich an entgegengesetzten Seiten des Parallelopipeds befanden. Somit waren die Endflächen mit guten ebenen

---

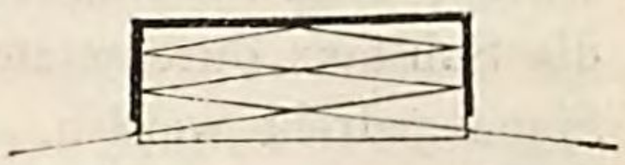
[1]) Phil. Mag., Sept. und Oct. 1846.

[2]) 1846, part. I, pp 4, 5. [Phil. Mag., vol. XXVIII, pp. 298, 299.] [Oben p. 6.]

Spiegeln versehen, von denen einer den anderen überragte (Fig. 2). In Folge dieser Einrichtung konnte ein Lichtstrahl das Glas seiner Länge nach schräg durchsetzen; es konnte also der an dem einen Ende eintretende Lichtstrahl nach mehrmaliger Reflexion an dem Glase an dem anderen Ende austreten.

Ein ähnliches Stück schweren Glases wurde an den beiden Endflächen und an einer Seitenfläche versilbert, und die Silberbelegung an solchen Stellen der Endfläche auf einer Strecke von 0,1 Zoll entfernt, welche von der versilberten Seitenfläche am weitesten abstanden (Fig. 1). Ein an der unversilberten Stelle der einen Endfläche unter einem gewissen Winkel eintretender Lichtstrahl konnte erst an dem anderen Ende, dann an der Seitenfläche und dann wieder an der ersten Endfläche reflectirt werden und so dreimal die Länge des Glases durchschreiten, um schliesslich an dem anderen Ende auszutreten. Unter anderen Einfallswinkeln würde der Lichtstrahl fünf-, sieben-, neun-, elfmal oder noch häufiger die Länge des Glases durchsetzen, ehe er auf seiner Bahn durch die Luft in das Auge des Beobachters gelangte.

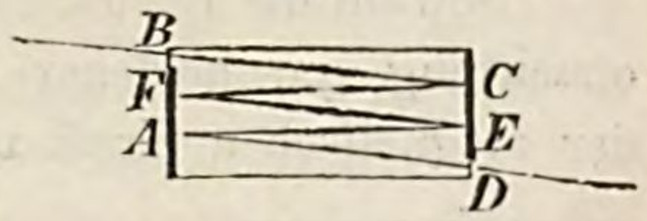
Fig. 1.



Mit beiden Gläsern liess sich der gewünschte Erfolg einer wiederholten Reflexion innerhalb derselben erzielen, das erstere erwies sich jedoch als zweckmässiger. Bei Anwendung einer intensiven Lichtquelle war es nicht schwer, die Reihe der durch die wiederholten Reflexionen erzeugten Bilder bis zum neunten oder zehnten Bilde zu verfolgen, die also einem siebzehn- oder neunzehnmaligen Durchgang des Strahles durch das Glas entsprechen. Eine geringe Lagenänderung des versilberten Glases zwischen dem polarisirenden und dem analysirenden Nicol'schen Prisma genügte, um jedes dieser Bilder in das Gesichtsfeld zu bringen, wobei das Glas zugleich sich völlig unter dem Einfluss des Elektromagnets oder der zur Erzeugung der magnetischen Kraftlinien benutzten Spirale befand. Einen weiteren Vortheil erreicht man, wenn die Endflächen des Glases einander nicht genau parallel sind, wenn also die Länge der Seitenflächen, die von den Ecken ausgehen, durch welche der Strahl ein- und austritt, um ein Weniges von einander verschieden sind. Hierdurch wird nämlich bewirkt, dass die reflectirten Bilder von dem einen Ende gesehen mehr auseinandertreten, an dem anderen sich zusammendrängen, und somit wird die Beobachtung eines bestimmten Bildes oder die gleichzeitige Vergleichung zweier oder mehrerer Bilder begünstigt.

Betrachten wir die Wirkung dieser Vorrichtung, so ist klar, dass, wenn ABCD eine Röhre ist, die eine Lösung von Zucker oder einer anderen Substanz enthält, die die gewöhnliche drehende Wirkung auf einen polarisirten Lichtstrahl hat, ein bei D eintretender und bei A austretender Strahl um einen gewissen Winkel gedreht werden wird. Wenn er aber, anstatt bei A aus-

Fig. 2.



zutreten, an der Fläche A F nach E reflectirt und dort beobachtet werden würde, so würde er keine Drehung aufweisen, da die auf dem Wege von D nach A auf ihn ausgeübte Wirkung durch die Wirkung auf dem Rückgange von A nach E genau compensirt werden würde. Oder wenn mehrere Reflexionen erfolgen würden, bei E F und C, der Strahl also die Substanz fünfmal durchsetzen würde, so würde die Grösse der Drehung schliesslich doch nur der bei einem einmaligen Durchgang durch die Substanz gleich sein.

Anders würde es jedoch sein, wenn A B C D ein Diamagneticum wäre, in welchem der Strahl unter dem Einfluss magnetischer Kräfte gedreht würde; denn in diesem Falle würde der Strahl, auf welchem Wege er auch die Substanz durchsetzte, in Bezug auf die Kraftlinien stets in *demselben* Sinne gedreht werden. Wenn er also bei A austretend beobachtet werden würde, so würde die Drehung (die wir als Rechtsdrehung bezeichnen wollen) so gross sein, als sie eben bei einmaligem Durchgang durch das Diamagneticum sein kann; bei E würde er eine Linksdrehung aufweisen, die doppelt so gross wäre als erstere, dieselbe als Einheit genommen; bei F würde die Rechtsdrehung dreimal so viel betragen als die erste; bei C würde die Linksdrehung den vierfachen und bei B die Rechtsdrehung den fünffachen Werth der ursprünglichen betragen.

Dies wurde durch den Versuch bestätigt. Das Glasparallelopiped (Fig. 2) wurde der Wirkung des in den Philosophical Transactions[1]) (2247) beschriebenen grossen Magnets ausgesetzt, und der Strahl, welcher das erste Bild des leuchtenden Gegenstandes hervorbrachte, erlitt eine Rechtsdrehung von 12^0. Eine geringe Bewegung des Glases brachte das zweite Bild, also dasjenige, welches der Strahl nach dreimaliger Durchsetzung des Glases hervorbrachte, in das Gesichtsfeld, und die Drehung desselben betrug 36^0. Das dritte Bild wies eine Drehung des dasselbe erzeugenden Strahles von 60^0 auf, so genau als mein roher Apparat Winkelgrössen zu messen gestattete. Dieselben allgemeinen Resultate erhielt ich mit dem anderen oben beschriebenen Glase.

Der Versuch beweist schlagend, dass, auf welchem Wege auch der Lichtstrahl die Substanz durchsetzt, die Richtung seiner Drehung wesentlich und ausschliesslich von der Richtung der magnetischen Kraftlinien abhängt.

Er beweist auch und zeigt in nicht misszuverstehender Weise den Unterschied, welcher zwischen der magnetischen Drehung des Lichtes und derjenigen, welche durch Quarz, Zucker, Terpentinöl und andere Körper hervorgebracht wird.

Sowohl die Beobachtung eines einzelnen als auch die gleichzeitige Beobachtung verschiedener Bilder beweist, dass die Wirkung der Länge des der magnetischen Kraft unterworfenen Lichtstrahls proportional ist (2163),

---

[1]) 1846, p. 22. Phil. Mag., vol. XXVIII, p. 398.

wie sich aus der Beobachtung der Längeneinheit und Multipla derselben ergiebt, wenn die Stärke der magnetischen Kraft und die sonstigen Umstände unverändert bleiben.

Der Versuch gestattet eine weit grössere Genauigkeit in der Messung der Grösse der Drehung eines Lichtstrahles oder in der Vergleichung der Drehung verschiedenfarbiger Lichtstrahlen.

Bei dieser Einrichtung genügt zum Versuche ein kürzeres Stück eines Diamagneticums, beispielsweise eines Krystalls etc., als bei einmaliger Durchsetzung des Lichtstrahles ausreichen würde.

Hierdurch wird zugleich bei Anwendung eines Magnets eine Concentration der magnetischen Kraft durch Annäherung der Pole und somit eine Verstärkung der Wirkung ermöglicht; es lässt sich somit auch ein schwacher Magnet an Stelle eines stärkeren benutzen, so dass gewöhnliche gute Magnete mit Vortheil angewandt werden können. Ebenso lässt sich nun eine viel kürzere und schwächere Spirale anwenden, als ehedem nothwendig war.

Nachdem ich den grossen Vorzug dieser Vorrichtung zur Untersuchung vieler Substanzen, welche nach der früher beschriebenen Methode keine merkliche Wirkung geben würden, festgestellt hatte, ging ich daran, sie zur Untersuchung der Luft und einiger doppeltbrechender Körper (2237) anzuwenden. Zu diesem Zwecke machte ich die Polflächen des Magnets spiegelnd, indem ich eine polirte Stahlplatte daran anbrachte; und da die Pole verschiebbar waren, so konnten die spiegelnden Flächen, zwischen denen sich die zu untersuchende Substanz befand, in jedem Abstande von einander und in jeder gewünschten Lage festgestellt werden.

Luft. — Befand sich Luft zwischen den Magnetpolen, so konnte ich keine Spur einer Einwirkung auf den Lichtstrahl wahrnehmen, auch nicht beim vierten, fünften und sechsten Bilde.

Bergkrystall. — Der Untersuchung wurden die früher beschriebenen Würfel dieser Substanz (2178) unterworfen; obschon dieselben 0,75 Zoll Seite hatten und der Lichtstrahl nach sieben- und sogar neunmaligem Durchgang durch dieselben beobachtet wurde, so konnte ich doch keine Spur einer Einwirkung auf den Lichtstrahl entdecken. Die Würfel wurden in allen Richtungen untersucht.

Isländischer Kalkspath. — In derselben Weise untersuchte ich einen Würfel aus dieser Substanz (2179), ohne eine Wirkung zu bekommen.

Schweres Glas bot die Erscheinungen mit Leichtigkeit und gut dar.

Nachdem diese Versuche mit Luft und doppeltbrechenden Krystallen kein positives Resultat ergeben hatten, versilberte ich letztere in derselben Weise, wie ich es beim schweren Glase gethan hatte, damit die Magnetpole einander möglichst genähert werden könnten; allein auch so liess sich keinerlei magnetische Einwirkung auf den Lichtstrahl wahrnehmen.

Auf das durch ein natürliches sechsseitiges Prisma von Bergkrystall von 2,3 Zoll Länge, dessen Endflächen eben geschliffen und versilbert wurden,

hindurchgehende Licht war keine magnetische Wirkung zu bemerken, weder bei dem ersten noch bei dem zweiten oder dritten Bilde.

E. Becquerel glaubt eine Wirkung auf doppeltbrechende Krystalle beobachtet zu haben; vermuthlich ist sein Apparat zum Nachweis optischer Aenderungen empfindlicher als der meinige. In diesem Falle würden sich damit am Ende nach der Methode der wiederholten Reflexionen des Lichtstrahls sehr deutliche Erfolge erzielen lassen; allein diese Methode für sich lieferte bisher keinen Nachweis der gesuchten Wirkung.

Gewisse Anzeichen erregten in mir das Interesse, zu untersuchen, ob sich vielleicht mit der in Fig. 1 dargestellten spiegelnden Vorrichtung in Folge der Durchkreuzung der reflectirten Lichtstrahlen eine Einwirkung zeigen würde; allein ich vermochte keinen Unterschied in der Wirkung zwischen dieser und der Vorrichtung der Fig. 2, wo keine solche Durchkreuzung stattfand, zu entdecken.

Gegen Ende des vorigen Jahres überreichte ich der Royal Society zwei Abhandlungen Ueber den magnetischen Zustand aller Materie[1]) (2243, 2343), in denen ich das Dasein einer bisher unbekannten magnetischen Wirkung bewiesen zu haben glaube, die ihrer Natur entgegengesetzt ist dem Magnetismus des Eisens jeglicher Stärke in allen Formen oder Zuständen des letzteren, oder dem Magnetismus, den das Eisen in welcher Quantität und unter welchen Umständen auch immer hervorzubringen vermag. Ich zeigte ferner, dass alle nicht wie Eisen magnetische Körper dieser neuen Einwirkung des Magnetismus unterliegen, und dass, wie sich die Wirkung des Magnetismus auf das Eisen, wie gering auch dessen Menge und in welchem Zustande es sich auch befinden mag, und die magnetische Eigenschaft des letzteren in *Anziehung* äussert, so das charakteristische Merkmal aller der Körper, die von Natur den neuen Zustand anzunehmen und diese neue Kraftform zu zeigen vermögen, *Abstossung* sei.

Becquerel überreichte der Akademie der Wissenschaften[2]) eine Note, worin er angiebt, gewisse Resultate, die von gewöhnlicher magnetischer Wirkung herrührten, und wobei die Lage der Substanzen *quer* zur magnetischen Axe gewesen sei, früher erlangt zu haben als ich selbst. Ich brauche nicht die ganze Note anzuführen, sondern will nur folgende Schlussworte wiederholen: „Aus diesen Thatsachen ergiebt sich, dass die Wirkungen, welche im Stahl oder weichen Eisen durch einen Magnet hervorgerufen werden, sich von denen in allen übrigen Körpern darin unterscheiden, dass in dem ersteren die Vertheilung des Magnetismus stets in der Längsrichtung

---

[1]) Philosophical Transactions, 1846, p. 21; Phil. Mag., vol. XXVIII, 1846.
[2]) Comptes Rendus, 1846, p. 147.

erfolgt, während sie im Eisenoxyd, Holz, Gummilack u. s. w. im Allgemeinen in einer Querrichtung stattfindet, insbesondere wenn sie die Gestalt von Nadeln haben. Dieser Unterschied beruht darauf, dass, da der Magnetismus in diesen Körpern sehr schwach ist, wir die Wirkung der Theilchen auf einander übersehen." Diese Worte, sowie die Zeit ihrer Veröffentlichung (Januar 1846) zeigen zur Genüge, dass Becquerel nicht die neue Form oder Art der magnetischen Wirkung zugiebt, die ich früher nachgewiesen zu haben glaube.

In einer Mittheilung an die Akademie vom Juni 1846 bestätigt E. Becquerel[1]) die von mir gefundene Wirkung auf das Licht und berührt auch die Frage der magnetischen Wirkung auf alle Körper; er hält indess selbst zu dieser Zeit an der Meinung seines Vaters hierüber fest. Um dies zu zeigen, brauche ich nur wenige Zeilen anzuführen. Nachdem er Coulomb's und seines Vaters Resultate vom Jahre 1827 angeführt hat, sagt er: „Diese Versuche sind vor beinahe zwanzig Jahren gemacht worden und nichtsdestoweniger hat Faraday die Erscheinung der Quereinstellung als etwas Neues angekündigt und aus den Substanzen, die sich so einstellen, und die er diamagnetische nennt, eine neue Classe gebildet. . . . . Ich frage mich, wie man in dem Classificirungstrieb so weit gehen kann, da man doch bewirken kann, dass eine und dieselbe Substanz sich in allen möglichen Lagen einstelle, in der longitudinalen, transversalen und schiefen. In der That, man stelle die beiden Enden zweier starker Magnete in einem Abstande von 0,08 bis 0,12 Zoll einander gegenüber und hänge mittelst eines Coconfadens in etwa 0,04 Zoll Entfernung von der Oberfläche eine kleine Holz- oder Kupfernadel von etwa 0,04 Zoll Dicke und 1,9 bis 2,3 Zoll Länge, so wird sie sich transversal stellen. Zerschneidet man die Nadel in zwei Hälften und theilt diese abermals etc., so werden wir schliesslich ein Fragment erhalten, das sich in Richtung der Verbindungslinie der Pole einstellt. Es ist dies einfach eine Aeusserung der resultirenden Kräfte; denn wir können eine und dieselbe Substanz in diese verschiedenen Lagen bringen, indem wir je nach ihrer Gestalt den Abstand der Pole ändern." Er bemerkt dann, dass er in gewissen Proben eine geringe Menge Eisen fand, erwähnt seinen früheren Satz, dass diese Substanzen sich wie ein Gemisch indifferenter Substanz und magnetischer Theilchen oder wie eisenhaltige Mischungen verhalten, und fährt fort, „alle diese Schlussfolgerungen bestehen heute noch in ihrer ganzen Allgemeinheit".

Diese Schlüsse zweier gründlicher Physiker, die in jeder Hinsicht competent sind, alle den Magnetismus betreffenden Fragen zu beurtheilen, machen mich aus zweierlei Gründen bedenklich. Erstens erscheint es möglich, dass ich mich wirklich in Betreff des umfassenden und allgemeinen Principes der magnetischen Wirkung, das ich entdeckt zu haben glaube, im Irrthum

---

[1]) Comptes Rendus, 1846, p. 595.

befinde; und zweitens, dass, wenn ich auch Recht habe, ich meine Ergebnisse zu mangelhaft beschrieben haben müsse, um diejenigen, welche massgebend sind, sie anzunehmen und zu verstehen, besser zu überzeugen. Ich habe daher diesen Gegenstand um meiner selbst willen einer Prüfung unterzogen; denn obwohl mir das Schicksal einer speculativen oder hypothetischen Ansicht, die ich aufstelle, ziemlich gleichgültig ist, so ist dies doch keineswegs der Fall, wenn es sich darum handelt, ob ich ein Wirkungsgesetz oder eine neue Thatsache richtig angegeben habe. Nachdem ich also einige Fälle von transversaler Einstellung mancher Körper, die wie Eisen magnetisch sind, sorgfältig untersucht habe, theile ich nunmehr das allgemeine Resultat mit.

In eine dünne, 1,4 Zoll lange Glasröhre von 0,25 Zoll Durchmesser schüttete ich regelrecht etwas Eisenoxyd (es ist dies eine der Substanzen, mit denen Becquerel experimentirt hat) von gleichförmiger Beschaffenheit; an einem langen Coconfaden aufgehängt, konnte ihr jede beliebige Lage in Beziehung zu einem der Pole eines starken Elektromagnets gegeben werden, dessen Gestalt durch eiserne Polstücke mannigfach abgeändert werden konnte. Der Experimentator muss wissen, dass Eisenoxyd zuweilen schwachen Magnetismus annehmen und zurückbehalten kann, und muss sich gegen die daraus folgenden unregelmässigen Erscheinungen schützen.

Dem Magnetpol wurde zunächst die Gestalt eines Kegels gegeben, dessen Basis 1,5 Zoll Durchmesser hatte und dessen Axe horizontal lag. Der Eisenoxydcylinder wurde dem Kegel genähert, so dass der Aufhängungsmittelpunkt in der Axe lag. War nun seine Lage, während der Magnet erregt war, senkrecht zu der axialen Linie, so behielt er sie bei; allein sie war eine Lage labilen Gleichgewichts; denn sobald der Cylinder an dieser oder jener Seite schief zur axialen Linie gestellt war, so kehrte sich das dem Kegel nächste Ende demselben zu, wurde zu ihm hingezogen und blieb in dieser Lage. Aber er mochte senkrecht zur axialen Linie und somit sich in labiler Gleichgewichtslage oder in irgend einer anderen Lage befinden, der Schwerpunkt wurde stets *angezogen*, was sich bei Anwendung eines Elektromagnets durch abwechselnde Unterbrechung und Schliessung des erregenden Stromes leicht feststellen liess.

Im Gegensatz hierzu will ich bemerken, dass, wenn diamagnetische Körper, ein Cylinder aus Phosphor, Wismuth oder schwerem Glase, unter genau denselben Umständen in die zur Axe senkrechte Lage gebracht waren, sie sich hier im *stabilen* Gleichgewicht befanden; wird der Cylinder aus derselben herausgebracht, so kehrt er, indem er Schwingungen um sie vollführt, in dieselbe zurück, und während der ganzen Zeit wird der Schwerpunkt der Masse *abgestossen*.

Nun wurde dem Magnetpol eine quadratische Gestalt gegeben, die dem Eisenoxydcylinder gegenüberliegende Fläche hatte 1,75 Zoll Seite. Die axiale Linie ist die, welche vom Mittelpunkte dieser Fläche aus horizontal

durch den Schwerpunkt des Cylinders, der zugleich sein Drehungsmittelpunkt war, hindurchgeht. Betrug der Abstand des Cylinders von der Polfläche weniger als 0,3 Zoll, so stand er parallel zur letzteren, folglich senkrecht zur axialen Linie; aus dieser Lage herausgebracht, kehrte er wieder in dieselbe zurück, sie war also eine Lage stabilen Gleichgewichtes. Dieselbe wurde jedoch bei ein wenig grösserem Abstande eine labile, und es fanden sich zwei stabile Gleichgewichtslagen von gleicher Neigung gegen die äquatoriale zu beiden Seiten derselben; mit der Zunahme des Abstandes wurde dieser Winkel immer grösser. Die äquatoriale sowohl als auch die schiefe Lage liessen sich leicht durch die Concentration der magnetischen Kraftlinien an den Rändern des quadratischen Endstückes des Magnets erklären. Von derselben Ursache herrührende Erscheinungen habe ich bereits früher erwähnt (2298, 2299, 2384).[1])

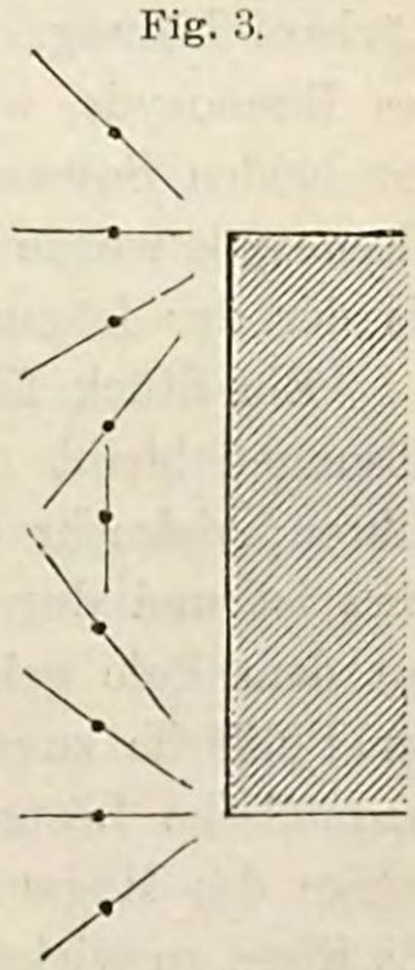
In jeder Lage vor diesem Magnetpol wurde der Cylinder aus Eisenoxyd im Ganzen *angezogen*.

Alle diese Erscheinungen traten ebenfalls ein, als ein solches Endstück angewandt wurde, dass die dem Eisenoxyd gegenüberstehende Polfläche in ihren Horizontalabmessungen auf 2,5 Zoll vergrössert wurde; aber nun konnte der Abstand zwischen der Polfläche und der Eisenoxydröhre bis zu einem Zoll und darüber vergrössert werden, ehe die Röhre die schiefen Lagen anzunehmen begann.

Wurde ein Endstück angewandt, dessen Horizontalabmessung 3,5 Zoll betrug, so waren die Erscheinungen wiederum genau dieselben, aber der Abstand konnte nun auf 1,75 Zoll vergrössert werden, ehe der Cylinder aufhörte, der Fläche parallel zu stehen, und eine schiefe Lage anzunehmen begann.

Um diese und andere Erscheinungen, die von der Gestalt der Polfläche und der Concentration der nahe den Rändern durch die Luft gehenden Kraftlinien vollkommen zu verstehen, will ich die Lagen zeichnen, welche der Eisencylinder auf dieser oder jener Seite der axialen Linie einnimmt, während der Aufhängungspunkt sich in constantem Abstande von der Polfläche befindet, aber auf der einen oder anderen Seite der axialen Linie in verschiedene Lagen gebracht wird. Aus der Darstellung derselben in der Figur ersieht man, dass die Art und die Grösse der Neigung des Eisenoxyds auf der einen oder anderen Seite der axialen Linie sich leicht begreifen lässt, wenn man die Concentration der magnetischen Kraft an den Kanten der Fläche berücksichtigt. Ebenso war es mit der vorigen Fläche von 2,5 Zoll. Jedes Ende des Eisenoxydcylinders konntdas der Polfläche nähere Ende sein, in

Fig. 3.



---

[1]) Philosophical Transactions, 1846, pp. 32, 48.

jedem Falle wurde der Schwerpunkt des Cylinders von dem Magnet *angezogen.*

Es wurden noch andere Eisenoxydcylinder von verschiedenem Durchmesser und verschiedener Länge angewandt; wenn dieselben kürzer waren als die ihnen gegenüberstehenden Polflächen, so waren die Erscheinungen genau dieselben.

Ein durch seinen Eisengehalt magnetischer Papiercylinder gab dieselben Resultate.

Da ich mir dachte, dass der lockere Zusammenhang des Eisenoxyds bei diesen Erscheinungen eine erhebliche Rolle spielt, indem hierdurch die Mittheilung der magnetischen Induction von Theilchen zu Theilchen erschwert und gehindert wird, und dass derselbe von grösserem Einfluss sein könnte als die Schwäche der magnetischen Kraft für sich, nahm ich noch andere Substanzen von schwächerem Magnetismus als das Oxyd und gab ihnen die Cylindergestalt. Hierzu wählte ich Lösungen von Eisenvitriol, Cobaltchlorür und Nickelchlorür in dünnen Glasröhren von 0,25 Zoll Durchmesser und 1,4 Zoll Länge und hängte sie vor den Polen auf, mit ihrem Aufhängungspunkte in der axialen Linie. Sie verhielten sich nicht wie das Eisenoxyd oder Papier. Sie konnten zwar in einer zur Polfläche parallelen Lage gehalten werden, aber dies war eine Lage labilen Gleichgewichts; wurden sie aus derselben auch nur im geringsten herausgebracht, so näherte sich das dem Magnet zugekehrte Ende demselben bis zur Berührung, und das System blieb ungeändert. Das Verhalten war genau gleich dem eines Eisenstücks, nur von sehr viel geringerer Energie.

Eine mit dem Fünffachen ihres Volumens durch Wasser verdünnte Lösung von Eisenvitriol bot genau dieselben Erscheinungen dar wie die stärkere Lösung, wiewohl ihr Magnetismus sehr viel geringer war als der des Eisenoxyds, wie sich aus der Stärke der Anziehung des Schwerpunktes der beiden Substanzen deutlich erkennen liess: der Aufhängungsfaden des Eisenoxyds wurde zwei- bis dreimal weiter aus der Verticalen herausgezogen als der der Lösung.

Ein Stück Eisen anstatt des Eisenoxydcylinders oder der magnetischen Lösungen bleibt nicht parallel oder schief zur Polfläche, *ohne* sie zu berühren; vielmehr geht ein Ende stets zur Polfläche hin; oder wenn es sehr kurz ist und durch Belastung oder auf andere Weise an der Berührung mit dem Pole gehindert wird, so wird ein Ende der ihm nächsten Stelle der Polfläche zugekehrt sein. Es verhält sich in dieser Beziehung wie die magnetische Lösung und nicht wie das Eisenoxyd; wie gering auch die Stärke des Magnetpoles sein mag, wenn er überhaupt im Stande ist, aut das Eisen zu wirken, so wird er *denselben* Effect hervorbringen. Wenn ferner das Eisen durch Erhitzung zur Rothgluth vollkommen frei von Magnetismus ist, so kann man bewirken, dass das eine wie das andere Ende das der Polfläche nähere wird.

Ein Stück Hämatit, das nicht mit einem Eisenwerkzeug, sondern mit Agat oder durch andere Mittel vorsichtig abgetrennt wurde, stellte sich ebenso ein wie das Eisen, wenn auch natürlich nicht mit derselben Kraft, d. h. es nahm weder parallel noch geneigt zur Fläche, ohne sie zu berühren, eine stabile Gleichgewichtslage an, sondern ein Ende ging stets zu dem Magnetpole hin und blieb mit ihm in Berührung. Gepulverter Hämatit in einer kleinen Röhre verhielt sich ebenso wie ein massives Stück.

Ein Röhrchen aus Flaschenglas, das in Folge seines Eisengehaltes magnetisch war, verhielt sich ebenso wie der Hämatit, auch wenn es pulverisirt sich in einer Flintglasröhre befand; sein Verhalten war also ungleich dem des Eisenoxyds.

Reines Mangansuperoxyd scheint eine Zwischenstellung zwischen diesen Körpern und dem Eisenoxyd einzunehmen. Im Allgemeinen ging das der flachen Polfläche nähere Ende zu ihr hin und blieb dort; befand sich aber ein Ende gegenüber dem Rande und das andere nahezu gegenüber der Mitte der Fläche, dann wich letzteres bei Erregung des Magnets, obwohl es ihm näher war als ersteres, zurück, und dieses näherte sich ihm bis zur Berührung. War das letztere Ende noch näher, so näherte es sich ihm von Anfang an, und es gab keine stabile Gleichgewichtslage der Röhre parallel oder nahezu parallel zur Fläche, ohne sie mit einem Ende zu berühren.

Ein dicker Platindraht verhielt sich wie Hämatit oder grünes Glas und nicht wie das Eisenoxyd in Becquerel's Versuch. Platinschwamm, in eine Röhre gepresst, verhielt sich wie das Mangansuperoxyd; in gewissen Lagen zeigte es wie dieses ein dem Eisenoxyd ähnliches Verhalten.

Der Schwerpunkt aller dieser Körper wurde von dem Magnet angezogen, gleichviel neben welcher Stelle der Polfläche sie sich befanden. In keinem Falle zeigte sich etwas wie Abstossung.

Ich sehe also nicht, wie man irgend eine Schwierigkeit haben könne, alle diese Lagenerscheinungen durch die gewöhnliche Wirkung des Magnetismus auf Substanzen, die nach Art des Eisens magnetisch sind, zu erklären. Alles hängt von der Gestalt und Grösse der Pole und von dem mehr oder weniger vollkommenen Zusammenhang oder der Lockerheit der magnetischen Substanzen ab; denn Substanzen, welche viel weniger magnetisch sind als Eisenoxyd, wie die Nickel- oder verdünnte Eisenlösung oder das metallische Platin, verhalten sich nicht wie das Eisenoxyd, sondern wie metallisches Eisen. Ueberdies haben die Erscheinungen in allen Fällen den Charakter von *Anziehung*; denn nicht nur wird der Schwerpunkt der ganzen Masse angezogen, sondern die Theile des Eisenoxydcylinders sowohl als auch die der anderen magnetischen Substanzen nehmen auch die Lagen ein, die die resultirende Anziehungskraft ihnen nothwendig geben muss. Dies ist genau das Umgekehrte von dem, was bei diamagnetischen Körpern eintritt; denn hier wird der Schwerpunkt der ganzen Masse *abgestossen*, und

die Theile nehmen, welche Gestalt auch die Masse haben mag, die Lage ein, die aus der Richtung und Grösse der *Abstossungs*kraft folgt.

Jede Zweideutigkeit und jeder Zweifel kann in Fällen wie die obigen, wo ein Einzelpol, sei er konisch oder keilförmig oder rund angewandt wird, beseitigt werden. Allerdings stellt sich ein zwei oder drei Zoll langer Eisendraht, wenn er mit seiner Mitte in die Nähe der Spitze eines konischen oder keilförmigen Poles gebracht wird, rechtwinklig zur Axe des Kegels oder Keils, indem er wie ein Waagebalken schwingt; auch nimmt ein Cylinder von Phosphor, Wismuth oder schwerem Glase unter denselben Umständen eine ähnliche Lage ein, aber Niemand, der mit dem Magnetismus vertraut ist, kann die Erscheinungen auch nur einen Augenblick verwechseln. Denn er sieht sofort, dass das Eisen, als Masse, angezogen, das Diamagneticum, als Masse, abgestossen wird. Und wenn er zur Beobachtung dieser Erscheinungen einerseits kleine Eisenkugeln, Eisenoxyd oder eine Eisenchlorürlösung, andererseits Wismuth, Phosphor, Kupfer oder Holz nimmt, so wird er die Erscheinungen in der einfachsten Form und die fundamentalen Thatsachen vor sich haben; denn die Magnetica wird er angezogen, die Diamagnetica wird er abgestossen sehen.

Ich kann keinen Fall von Querstellung finden, der sich nicht auf die beiden obigen Arten zurückführen liesse, das heisst, der sich nicht entweder als eine magnetische oder als eine diamagnetische Wirkung darstellen liesse. Selbst hinsichtlich der Wirkung des gewöhnlichen Magnetismus auf Eisenoxyd und ähnliche Körper, sehe ich keinen Grund, Becquerel's Behauptung anzunehmen, dass die Vertheilung des Magnetismus vorwiegend in einer Querrichtung erfolge. Mir scheint, dass in diesen Fällen die Zerstörung der Continuität der Masse, im Verein mit dem Stärkegrade der magnetischen Kraft dieser Substanz die Uebertragung der Kraft durch Induction oder Leitung von Theilchen zu Theilchen in demselben Maasse wie bei unverletzter Continuität verhindert, dass sich demnach in kurzen Abständen von einander und in verschiedenen Richtungen Folgepole bilden, und dass dies der Grund ist, weshalb die Eisen- oder Nickellösung oder das metallische Platin sich, trotzdem sie schwächer magnetisch sind als das Eisenoxyd, nicht wie dieses, sondern wie metallisches Eisen verhalten.

Wäre nicht das merkwürdige Verhalten des Vacuums und der Substanzen in fein vertheiltem Zustande, wie Luft, Gase und Dämpfe, auf das ich unter Anderem eben aus diesem Grunde in meinen Experimental-Untersuchungen (2432 etc.) nachdrücklich hingewiesen habe, so könnte es fraglich sein, ob die Wirkung auf die von mir diamagnetisch genannten Körper nicht genau dieselbe ist wie auf magnetische, und die Anziehungs- wie die Abstossungserscheinung nicht lediglich auf einer graduellen Verschiedenheit zwischen dem betreffenden Körper und dem umgebenden Medium beruht (2438 etc.). Allein, ich kann nicht umhin, das Vacuum in Betreff der Anziehungs- und Abstossungserscheinungen als einen Nullpunkt anzusehen, und

da im Vacuum magnetische Körper von einem Magnet angezogen, diamagnetische Körper abgestossen werden (2406, 2436), so glaube ich, dass diese beiden Erscheinungen Aeusserungen zweier antithetischer Formen der magnetischen Kraft sind. Zu diesem Schlusse bin ich in meinen ursprünglichen Abhandlungen gelangt, und trotz meiner grossen Achtung vor Becquerel's Urtheil, fühle ich mich durch die Thatsachen ermuthigt, daran festzuhalten.[1])

Die Drehung des Lichtstrahls durch schweres Glas unter dem Einfluss eines kräftigen Elektromagnets erreicht nicht sofort ihr Maximum, sondern braucht hierzu eine merkliche Zeit (Experimental-Untersuchungen 2170), was ich darauf zurückgeführt habe, dass, wie die Stärke des Magnets, so auch die Wirkung dieser Kraft in dem Glase allmählich wächst. Becquerel stimmt dieser meiner Erklärung nicht bei, sondern meint, dies rühre daher, dass die Theilchen des Diamagneticums selbst Zeit brauchen, um ihren neuen Zustand anzunehmen. Dass sie Zeit brauchen, halte ich für sehr wahrscheinlich. Ich kenne keinen Zustand, zu dessen Annahme nicht Zeit erforderlich wäre. Diese Zeit ist jedoch bei den diamagnetischen Körpern höchstwahrscheinlich ausserordentlich klein, und dass die erwähnte Erscheinung nicht darin ihren Grund habe, lässt sich, glaube ich, durch zwei Ueberlegungen zeigen. Erstens ist es auf anderem Wege, wie durch Induction von Strömen etc., bewiesen und bekannt, dass der Elektromagnet Zeit braucht, um das einem gegebenen elektrischen Strome entsprechende Maximum der magnetischen Kraft zu entwickeln. Ich habe gezeigt, dass die Drehung des Lichtstrahls während dieses Ansteigens des Magnetismus

---

[1]) Ich nehme mir die Freiheit, hier auf einen ähnlichen Punkt in der Theorie der Elektrostatik hinzuweisen. Ich bin oft gefragt worden, ob sich ein absoluter natürlicher Nullpunkt zwischen positiver und negativer Elektricität nachweisen lässt; und mit Bezug auf Peltier's Ansichten, dass die Erde negativ sei gegen den umgebenden Raum, der selbst positiv sei, hat man mir entgegengehalten, dass, wenn alle Punkte eines Theiles ihrer ebenen Oberfläche gleich stark negativ wären, wir von dieser Oberfläche nicht behaupten könnten, dass sie sich nicht auf dem Nullpunkte befinde. Dies ist jedoch nicht der Fall. Eine in Wirklichkeit negative Fläche kann im Vergleich zu einer noch stärker negativen positiv erscheinen; oder es kann auch eine negative Fläche im Vergleich zu zwei anderen, von denen die eine stärker, die andere schwächer negativ oder selbst positiv ist, sich auf dem Nullpunkte zu befinden scheinen; allein eine wahre Normalfläche zeigt ihren wirklichen Zustand sofort an. Eine solche Normalfläche ist die Innenseite eines metallischen Gefässes, die vermöge der Gestalt oder Tiefe desselben allen äusseren Einflüssen entzogen ist. Ein solches Gefäss zeigt im Innern stets denselben normalen Zustand, welche Ladung auch die Aussenfläche haben mag, und wenn man die Oberfläche der Erde mit der Innenfläche eines solchen Gefässes vergleicht, was mittelst Prüfungskörper, wie sie Coulomb anwandte, leicht geschehen kann, so kann man ohne Weiteres angeben, ob die Oberfläche sich in einem negativen- oder Nullzustande befindet.

zunehmen muss; und ich fand, dass gleichzeitig mit der Zunahme der Drehung auch die Kraft, Ströme zu induciren, besteht. Zweitens aber, wenn das Diamagneticum nicht der Wirkung eines Elektromagnets, sondern einer Spirale ausgesetzt wird, so wächst die Drehung nicht wie im ersteren Falle allmählich, sondern erreicht augenblicklich ihr Maximum (Experimental-Untersuchungen 2195). Aus diesen Gründen halte ich an der in meinen Arbeiten des letzten Jahres gegebenen Erklärung fest.

Es ist wahrlich unvermeidlich, dass bei so neuen Gegenständen wie diese über manche Punkte Meinungsverschiedenheiten entstehen, und es ist auch für die Forschung selbst so besser, da man hierdurch den Thatsachen eine eingehendere Untersuchung zuwendet. Ich lasse daher manche Differenzpunkte zwischen mir und Anderen gegenwärtig unerwähnt, in der Meinung, dass neue und damit zusammenhängende Thatsachen sich rasch häufen, und dass die mächtige Helferin Zeit den Thatsachen wie den Meinungen in einigen Jahren ihren rechten Platz anweisen wird.

Royal Institution,
11. August 1846.

Ueber das diamagnetische Verhalten der Flammen und Gase.[1])

An Rich. Taylor, Esq.

Mein werther Herr,

Ich empfing neulich von Zantedeschi eine von ihm veröffentlichte Abhandlung, in welcher Bancalari's Entdeckung des Magnetismus (Diamagnetismus) der Flammen und weitere dieselbe bestätigende Versuche von Zantedeschi mitgetheilt werden, und worin er zeigt, dass eine Flamme aus der zwei Magnetpole verbindenden axialen Linie fortgestossen wird. Ich sende Ihnen die Abhandlung, um sie, falls Sie ihre Bedeutung ebenso hoch anschlagen als ich, im Philosophical Magazine zum Abdruck zu bringen, und lasse ihr zugleich meine eigenen experimentellen Bestätigungen und Erweiterungen folgen. Nachdem Zantedeschi seine Resultate veröffentlicht hat, halte ich mich berechtigt, über diesen Gegenstand, für den ich natürlich ein sehr tiefes Interesse habe, zu arbeiten. Wahrscheinlich wird das, was ich beschreibe, nur zur Bestätigung dessen dienen, was bereits in Italien oder anderswo ermittelt worden ist. In diesem Falle wird man mich hoffentlich entschuldigen; denn eine wichtige Thatsache durch ein zweites Zeugniss zu bekräftigen, ist keineswegs überflüssig und mag in dem vorliegenden Falle Andere veranlassen, an dem neuen, die diamagnetischen Körper betreffenden Forschungsgebiete überhaupt thätigen Antheil zu nehmen.

Ich fand alsbald das Hauptresultat des diamagnetischen Verhaltens der Flamme bestätigt und weiss kaum, wie mir diese Beobachtung vor einigen Jahren hat entgehen können. Da ich augenfälligere Nachweise erhalten zu haben glaube, als in Zantedeschi's Abhandlung mitgetheilt sind, so will ich die Form und Anordnung der wesentlichen Theile meines Apparates beschreiben. Ich benutzte den in den Experimental-Untersuchungen (2247) beschriebenen kräftigen Magnet. Die beiden eisernen Ansatzstücke, welche die eigentlichen Pole bildeten, waren je 1,7 Zoll im Quadrat und 6 Zoll lang; den Enden war aber eine einem Kegel sich nähernde Gestalt gegeben, dessen Seiten einen Winkel von etwa 100^0 bildeten und dessen Spitze hori-

---

[1]) Philosophical Magazine, Ser. 3, vol. XXXI, No. 210, December 1847.

zontal und in der oberen Fläche der Eisenstücke lag. Der Scheitel eines jeden Endes war durch Fortnahme von nahezu $^1/_{10}$ Zoll von dem Kegel abgerundet. Brachte man diese Enden nahe an einander, so gaben sie eine kräftige Wirkung in dem magnetischen Felde; die Axe der magnetischen Kraft lag natürlich horizontal und nahezu im Niveau der oberen Fläche der Enden. Ich habe diese Form in einer grossen Mannigfaltigkeit von Versuchen ausserordentlich vortheilhaft gefunden.

Wurde die Flamme einer Wachskerze nahe der axialen Linie auf dieser oder jener Seite derselben gehalten, so dass ungefähr ein Drittheil der Flamme sich über das Niveau der oberen Fläche der Pole erhob, so erlitt die Flamme bei Erregung des Magnets sofort eine Einwirkung, wich von der axialen Linie zurück, bewegte sich in äquatorialer Richtung, bis sie eine geneigte Lage annahm, wie wenn ein mässiger Wind sie aus der aufrechten Stellung ablenkte; diese Wirkung verschwand, sobald der Magnetismus aufgehoben wurde.

Die Erscheinung war nicht augenblicklich fertig, sondern stieg allmählich zu einem Maximum an. Sie hörte sehr rasch auf, wenn der Magnetismus zum Verschwinden gebracht wurde. Das progressive Wachsthum der Erscheinung beruht auf der allmählichen Entstehung von Luftströmen in dem magnetischen Felde, welche sich durch das magnetische Verhalten der Flamme auszubilden suchen und ausbilden.

Wurde die Flamme so gestellt, dass sie sich wirklich quer zur magnetischen Axe erhob, so bestand die Wirkung des Magnetismus darin, die Flamme zwischen den Polspitzen zusammenzudrücken, so dass sie in der Richtung der axialen Linie von den Polen gegen die mittlere Querebene zurückwich, und den Gipfel der Flamme zu verkürzen. Zugleich brannten die Spitze und die Seiten des zusammengedrückten Theils lebhafter, weil zwei von den Polen ausgehende Luftströme die Flamme zu beiden Seiten derselben direct trafen, um alsdann mit ihr in äquatorialer Richtung fortzugehen. Aber zugleich fand eine Abstossung oder ein Zurückweichen der Flammentheile aus der axialen Linie statt; denn die unteren Theile erhoben sich nicht so rasch als vorher und wichen auch beim Aufsteigen in einer geneigten und äquatorialen Richtung aus.

Stellte man die Flamme noch etwas höher, so waren die eben beschriebenen Wirkungen der magnetischen Kraft stärker und die Flamme nahm die Gestalt eines quer zur magnetischen Axe sich erstreckenden Fischschwanzes an.

Stellte man die Flamme so hoch, dass etwa zwei Drittheile derselben sich über der axialen Linie befanden, und brachte man die Pole einander so nahe (auf etwa 0,3 Zoll), dass sie den an der axialen Linie befindlichen Theil der Flamme abzukühlen und zusammenzudrücken begannen, jedoch ohne ihr freies Aufsteigen zu hindern, so wurde die Flamme bei Erregung des Magnets mehr und mehr zusammengedrückt und verkürzt; indem die

Wirkung sich dem Maximum näherte, senkte sich schliesslich der Gipfel, und die Flamme erhob sich nicht mehr zwischen den Magnetpolen, sondern breitete sich rechts und links von der axialen Linie aus, eine Doppelflamme mit zwei länglichen Zungen bildend. Diese Flamme war längs des oberen ausgestreckten gegabelten Randes sehr hell, an dieser Stelle belebt von einem Luftstrom, der sich von den Polen auf diesen Theil der Flamme *herabsenkte* und sie in der That in die äquatoriale Richtung forttrieb.

Wurde der Magnet ausser Wirksamkeit gesetzt, so nahm die Flamme sogleich wieder ihre gewöhnliche aufrechte Gestalt zwischen den Polen an, um sich bei Wiedererregung des Magnets abermals zu verkürzen und zu theilen.

Eine kleine nur etwa ein Drittel Zoll hohe Flamme zwischen den Polen wurde unter dem Einfluss der magnetischen Kraft augenblicklich zu einer äquatorialen Scheibe abgeflacht.

Eine mit Draht umwickelte nussgrosse Baumwollenkugel mit Aether getränkt und angezündet, giebt eine sechs bis sieben Zoll hohe Flamme. Diese grosse Flamme stieg frei und nach ihrer gewöhnlichen Art zwischen den Polen in die Höhe, um sich jedoch bei Erregung des Magnets in zwei Flammen zu theilen und zu beiden Seiten der axialen Linie auseinanderzutreten.

Dies ist die allgemeine und sehr auffällige Erscheinung, welche durch die Wirkung des Magnetismus auf die Flamme hervorgebracht werden kann, und deren Entdeckung wir Bancalari verdanken.

Ich bestätigte die von Zantedeschi erhaltenen Erscheinungen an verschiedenen Flammen und fand, dass die durch Alkohol, Aether, Steinkohlengas, Wasserstoff, Schwefel, Phosphor und Campher erzeugten Flammen sämtlich die nämliche, ob zwar abscheinend nicht ebenso starke Einwirkung erlitten. Die hellsten Flammen schienen am stärksten afficirt zu werden.

Die Hauptresultate lassen sich bei Anwendung einer rauchenden Wachskerze in einer in mancher Hinsicht noch auffälligeren und lehrreicheren Weise zeigen als mit Flammen. Lässt man eine aus mit Grünspan gefärbtem Wachse hergestellte Kerze eine Minute aufrecht brennen und bläst sie dann aus, so hinterlässt sie gewöhnlich einen Funken oben am Draht, so dass dieser fortglimmt, und eine langsame Verbrennung wohl eine Stunde lang und noch länger fortdauert, indem dichter Rauch in Form eines schmalen Streifens entströmt, der in ruhiger Atmosphäre sechs bis acht Zoll in die Höhe steigt und in einer bewegten Atmosphäre jede Aenderung der Bewegung sowohl der Richtung als der Stärke nach anzeigt. Wenn die Kerze unter die Pole gehalten wird, so dass der Rauchstrom etwas seitlich von der axialen Linie entweicht, so wird er von dem Magnet kaum beeinflusst, vorausgesetzt dass die Kerze sich drei bis vier Zoll unter den Polen befindet. Wird aber die Kerze gehoben, so dass der verkohlende Docht nicht mehr als einen Zoll unter der axialen Linie liegt, so wird der

Rauchstrom weit stärker beeinflusst, und zwar nach aussen gebogen; und bei noch höherer Lage der Kerze giebt es einen Punkt, wo der Rauch dem Docht horizontal entströmt, um in äquatorialer Richtung fortzugehen. Hält man die Kerze so, dass der Rauchstrom *durch* die axiale Linie geht, und ändert die Abstände wie vorher, so bemerkt man, wenn der Docht vier Zoll darunter steht, eine geringe oder gar keine Wirkung; hebt man sie jedoch, so sucht der Rauchstrom, sobald der *warme* Theil desselben sich zwischen den Polen befindet, sich zu theilen; und wenn der glimmende Docht ungefähr einen Zoll unter der axialen Linie steht, so steigt die Rauchsäule senkrecht in die Höhe, bis sie etwa zwei Drittel dieses Abstandes überschritten hat, um sich dann zu theilen und, den Raum zwischen den Polen klar lassend, rechts und links fortzugehen. Hebt man die Kerze langsam, so beginnt die Theilung des Rauches an einer tieferen Stelle, bis sie bei einem Abstande von 0,4 oder 0,5 Zoll unter der axialen Linie an dem Dochte selbst eintritt. Bei noch weiterer Erhebung der Kerze ist die magnetische Wirkung so stark, dass der Strom sich nicht bloss theilt, sondern zu beiden Seiten des glimmenden Dochtes herabsinkt und dabei eine dem Buchstaben W ähnliche Gestalt annimmt; zugleich nimmt die Helligkeit des glimmenden Dochtes an dem oberen Ende, in Folge des Luftstromes, der sich auf ihn herabsenkt, bedeutend zu. Der Abstand der Magnetpole muss bei diesen Versuchen ungefähr 0,25 Zoll betragen.

Ein Stück glimmenden Feuerschwammes oder ein glimmender Holzsplitter gab denselben Effect.

An einem solchen kleinen Funken mit Rauchstrom habe ich sogar die Wirkung eines gewöhnlichen Magnets nachweisen können. Derselbe war von guter Beschaffenheit und seine konisch gestalteten Pole nahe zusammen.

Ehe ich die Beschreibung der allgemeinen Erscheinungen verlasse und zu einer Betrachtung der Principien dieser Wirkung des Magnetismus übergehe, will ich bemerken, dass ein einzelner Magnetpol ähnliche Wirkungen auf Flammen und Rauch ausübt, wenngleich dieselben weniger augenfällig sind.

Obschon die Erscheinung selbst sich an einer Flamme so deutlich zeigt, so ist es auf den ersten Blick nicht klar, was die Hauptursache oder die Ursachen derselben sind. Die augenfälligste und wahrscheinlichste Bedingung ist die *Wärme* der Flamme, aber andere Umstände können einen ebenso grossen oder noch grösseren Einfluss haben. Während der Zeit finden chemische Vorgänge statt — in mehreren der benutzten Flammen finden sich starre Substanzen, die als diamagnetisch bekannt sind — und zwischen der Substanz der Flamme und der umgebenden Luft besteht ein grosser Unterschied. Einige oder alle diese Umstände, Temperatur, chemische Wirkung, Starrheit eines Theiles der Substanz und Verschiedenheit

der Zusammensetzung hinsichtlich der umgebenden Luft können bei der Entstehung oder Modificirung der Erscheinung betheiligt sein.

Ich brachte die Drähte eines Elektrometers und auch eines Galvanometers in verschiedene Theile der der Einwirkung unterliegenden Flamme, erhielt aber durch die Instrumente keine Anzeige einer Elektricitätserregung.

Ich untersuchte, ob ohne Anwesenheit einer Flamme oder der Wärme in der Nähe der axialen Linie ein Luftstrom vorhanden sei, indem ich ihn durch die Nebel, die sich bilden, wenn in concentrirte Lösungen von Ammoniak und Salzsäure getauchte Papierstückchen neben einander gehalten werden, sichtbar zu machen suchte. Ich fand zwar, dass der Magnetismus auf einen solchen Nebelstrom eine schwache Wirkung ausübte, gewann jedoch die Ueberzeugung, dass keine Strömung oder Bewegung gewöhnlicher Luft für sich zwischen den Polen stattfand. Der Nebel selbst war schwach diamagnetisch, vermuthlich in Folge der darin enthaltenen festen Theilchen.

Bei Anwesenheit einer Flamme oder einer glimmenden Kerze entsteben jedoch unter günstigen Umständen starke Luftströme. Befindet sich die Flamme zwischen den Polen, so nehmen diese Ströme ihren Lauf längs der Oberfläche der Pole, verlassen sie an den gegenüberliegenden, durch die axiale Linie verbundenen Seiten, gehen dieser Linie parallel, treffen die Flamme auf entgegengesetzten Seiten, machen dann, indem sie die Flamme unterhalten, einen Theil derselben aus und entweichen in äquatorialer Richtung. Wenn die Flamme durch die Gewalt dieser Ströme auseinandergetrieben wird und sich zurückzieht, so folgen ihr die Ströme, und wenn so die Flamme sich gabelt, so bildet die zwischen den Polen befindliche Luft einen Strom, welcher von den Polen herab und seitwärts gegen die Flamme geht. Ich meine nicht, dass die Luft in *jedem* Falle längs der Oberfläche der Pole oder der axialen Linie oder aus dem Zwischenraume der Pole wandert; denn wenn man eine glimmende Kerze etwa einen halben Zoll unter der axialen Linie hält, ist es die zunächst der Kerze und (im Allgemeinen) zwischen ihr und der axialen Linie befindliche kalte Luft, welche mit grösster Gewalt auf sie herabsinkt. In der That entspringen die Bewegungen der Theile der Luft und der Flamme aus einer Differentialwirkung. Wir werden sehen, dass die Luft ebenso wie die Flamme oder warmer Rauch diamagnetisch ist, d. h. dass beide, gemäss dem allgemeinen Gesetze, welches ich in den Experimental-Untersuchungen (2267 etc.) aufgestellt habe, von Orten stärkerer zu Orten schwächerer magnetischer Kraft zu gehen suchen, aber heisse Luft und Flammen mehr als kalte oder kältere Luft. Befindet sich also eine Flamme und Luft oder Luft von verschiedener Temperatur gleichzeitig in einem Raume unter Einfluss magnetischer Kräfte von verschiedener Stärke, so werden die heisseren Theilchen von Orten stärkerer zu Orten schwächerer Wirkung zu gehen suchen und durch die kälteren Theilchen ersetzt werden. Die ersteren werden also abgestossen werden und hierdurch, vereint mit der mechanischen Kraft oder

Strömung, welche die Flamme für gewöhnlich in der Atmosphäre hervorbringt, entstehen jene Ströme.

Sie sehen, dass ich das Verhalten der Flamme bloss als einen besonderen Fall eines allgemeinen Gesetzes betrachte. Es ist ein sehr wichtiger und schöner Fall, der uns zur Entdeckung des Diamagnetismus gasförmiger Körper geführt hat, aber er ist auch complicirt, wie ich nun durch Zergliederung einiger seiner Bedingungen und deren Folgen zeigen will.

Um den Einfluss der Wärme für sich auf das diamagnetische Verhalten der Flamme zu untersuchen, befestigte ich eine kleine Spirale aus dünnem Platindraht an zwei dickere Kupferdrähte, so dass die Spirale in jede Lage zu den Magnetpolen gebracht und zugleich durch eine Volta'sche Batterie nach Belieben in's Glühen versetzt werden konnte. Sie vertrat so die Stelle der brennenden Kerze und erzeugte einen stark erhitzten Luftstrom, ohne seine chemische Beschaffenheit zu ändern. Befand sich die Spirale gerade unter der axialen Linie, so stieg die Luft zwischen den Polen ungehindert in die Höhe, wie sich mittelst eines Thermometers oder durch die Wärme, die ein dorthin gehaltener Finger zu spüren hatte, oder durch Verkohlung von Papier nachweisen liess. Sobald aber der Magnet in Thätigkeit gesetzt wurde, theilte sich die heisse Luft in einen Doppelstrom und stieg zu beiden Seiten der axialen Linie empor; zwischen den Polen jedoch bildete sich ein absteigender Strom, der zur Spirale und zur heissen Luft herabging, die in die Höhe stieg und seitwärts von demselben entwich.

Es ist demnach vollkommen klar, dass heisse Luft in Bezug auf kalte diamagnetisch oder stärker diamagnetisch ist als diese, und hieraus schloss ich, dass ich durch Abkühlung der Luft unter ihre gewöhnliche Temperatur würde bewirken können, dass sie sich der magnetischen Axe nähere oder gegen gewöhnliche Luft magnetisch erscheinen würde. Ich hatte einen kleinen Apparat, in welchem eine verticale Röhre, durch welche Luft strich, durch ein eine Kältemischung enthaltendes Gefäss ging, das mit Flanell umwickelt war, um die äussere Luft vor Abkühlung und das magnetische Feld vor einer Störung durch dieselbe zu schützen. Der centrale Strom kalter Luft wurde ein wenig seitwärts von der axialen Linie herabgeleitet in eine Röhre, die ein empfindliches Luftthermometer, an dem ihre Wirkung sich kundgab, enthielt. Diese hörte auf, sobald der Magnet in Thätigkeit gesetzt wurde, und das Thermometer stieg nun; brachte man dieses aber unter die axiale Linie, so fiel es wieder und zeigte somit, dass der kalte Luftstrom nach innen oder gegen die axiale Linie hin gezogen wurde, d. h. gegen Luft von gewöhnlicher Temperatur magnetisch oder weniger diamagnetisch geworden war als diese. Die niedrige Temperatur betrug 0^0 F. Die Wirkung war gering, aber deutlich.

Die Wirkung der Wärme, den Diamagnetismus der Luft so beträchtlich

zu erhöhen, ist sehr merkwürdig. Es ist, glaube ich, durchaus nicht wahrscheinlich, dass die Ursache der Aenderung der diamagnetischen Beschaffenheit der Luft lediglich eine Folge ihrer Ausdehnung sei, da man vielmehr erwarten musste, dass bei gleichem Volumen die ausgedehntere Luft sich weniger diamagnetisch zeigen würde als die dichtere, geradeso wie zu vermuthen ist, dass ein Vacuum keinerlei magnetische oder diamagnetische Erscheinungen zeige, sondern sich auf dem Nullpunkte, in der Mitte zwischen den beiden Körperclassen befinde (Experimental-Untersuchungen, 2423, 2424). Sicher ist, dass, wenn die Luft der magnetischen Körperclasse angehörte, ihre Ausdehnung, was ebenso viel wie Verdünnung ist, sie gegen gewöhnliche Luft diamagnetisch erscheinen lassen würde (Experimental-Untersuchungen, 2367, 2438); allein dies ist, wie ich glaube, nicht wahrscheinlich, wie man aus den weiterhin in Bezug auf Sauerstoff und Stickstoff beschriebenen Resultaten ersehen wird.

Wenn der Einfluss der Wärme eine directe Folge der Temperatur und derselben proportional ist, so erhalten hierdurch die Gase und Dämpfe einen sehr merkwürdigen und, wie wir später sehen werden, allen gemeinsamen Charakter. In meinen früheren Versuchen (Experimental-Untersuchungen, 2359, 2397) konnte ich nicht finden, dass die magnetische Stärke der vielen von mir untersuchten diamagnetischen Körper durch die ihnen mitgetheilte Temperatur erhöht oder überhaupt geändert werde. Dasselbe Resultat erhielt ich bei einer erneuten Untersuchung kleiner Cylinder von Kupfer und Silber, die ich der Wirkung eines einzelnen Poles bei gewöhnlichen Temperaturen und bei Rothgluth aussetzte. Wenn die Erhöhung der Temperatur überhaupt einen Einfluss ausübte, so bestand er in einer sehr kleinen Steigerung der diamagnetischen Kraft, aber ich bin dessen nicht sicher. Einstweilen scheinen sich also die gas- und dampfförmigen Körper dadurch auszuzeichnen, dass die Wärme ihren diamagnetischen Zustand sehr stark erhöht.

Da alle diese Versuche mit Flammen, Rauch und Luft zu zeigen scheinen, dass die Luft deutlich magnetisch ist und es auch bei allen Temperaturen bleibt, obzwar die Temperatur einen bedeutenden Einfluss hierauf ausübt, so durfte man hieraus mit Wahrscheinlichkeit schliessen, dass andere gas- oder dampfförmige Körper diamagnetisch oder magnetisch seien und sich selbst bei gewöhnlicher oder gleicher Temperatur unterscheiden. Ich schritt daher zur Untersuchung derselben, indem ich sie zunächst mit Hülfe geeigneter Apparate und Vorrichtungen in die Luft strömen liess und die Bahn dieser Ströme beim Durchgang durch das magnetische Feld, das eine Mal bei Erregung, das andere Mal bei Abwesenheit der magnetischen Kraft, beobachtete.

Manchmal erzeugte ich diese Ströme, indem ich die Gase in einen Ballon mit einer Mündung oder einem Tubulus eintreten und aus diesem ausfliessen liess, aufwärts oder abwärts, je nachdem das Gas leichter oder

schwerer war als Luft. In anderen Fällen, beispielsweise bei Salzsäure oder Ammoniak, liess ich die Ströme aus der Mündung der Retorte austreten. Da es jedoch sehr wichtig ist, das magnetische Feld nicht mit einer unsichtbaren Gasmenge zu überschwemmen, so traf ich folgende Anordnung, die für alle in Wasser nicht löslichen Gase ihren Zweck gut erfüllt. Ich nahm eine Woulf'sche Flasche, die oben drei Oeffnungen *a*, *b*, *c* hatte, und befestigte in der Oeffnung *a* eine oben und unten offene, bis zum Boden der Flasche herabreichende Röhre, durch welche Wasser eingegossen werden sollte, um das darin befindliche Gas zu verdrängen. Die Oeffnung *b* wurde durch einen Stöpsel verschlossen, die Oeffnung *c* hatte eine nach aussen gehende Röhre mit einem Hahn, um das Gas nach dem verlangten Ort zu leiten. Um das Gas auszutreiben, befand sich über der Flasche ein Behälter mit Wasser, dessen Hahn durch einen Holzsplitter so weit verstopft war, dass er, ganz aufgedreht, nicht mehr als zwölf Cubikzoll Wasser in der Minute hindurchliess. Wurde dieser Wasserstrahl durch die Oeffnung *a* hineingeleitet, während der Hahn der Röhre *c* offen war, so traten zwölf Cubikzoll Gas in einer Minute aus der Woulf'schen Flasche aus, eine Menge, die zu meinem Magnet und Apparat vortrefflich passte.

Um das Gas zu den Magnetpolen treten zu lassen, diente eine Glasröhre von dieser Gestalt ⎽⎽⎽⎽⎽⌋, die mittelst einer Klemme von dem Stativ des Magnets getragen wurde, so dass sie leicht rückwärts oder vorwärts oder seitwärts verschoben und ihr verticaler Schenkel an jedem beliebigen Punkte unter der axialen Linie festgestellt werden konnte. Der innere Durchmesser dieses Schenkels betrug an der oberen Oeffnung ungefähr ein Achtel Zoll. In dem horizontalen Schenkel befand sich nahe dem Bug ein Stück Fliesspapier, das (wenn nöthig) mit einer starken Lösung von Salzsäure befeuchtet war. Dieser Schenkel liess sich mittelst einer kurzen Röhre von vulkanisirtem Kautschuk, wenn es nöthig war, in einem Augenblick mit der Röhre *c* der Gasflasche verbinden und wieder von ihr trennen. Wenn das in Form eines Stromes anzuwendende Gas schwerer war als das umgebende Medium, dann befand sich die Glasröhre über der axialen Linie und hatte nicht die obige Gestalt, sondern war so gebogen, dass sie einen abwärts gehenden Strom lieferte. So hatte man es vollkommen in der Hand, verschiedene und ganz beständige Gasströme zu erhalten.

Es galt nun zunächst die Bahn dieser Ströme zu entdecken und zu verfolgen. Einigermassen liess sich dies durch etwas Ammoniakdampf, der in der Nähe des magnetischen Feldes entwickelt wurde, erreichen, allein es genügte nicht; denn erstlich ist das in Gestalt einer kleinen Wolke sich bildende Chlorammonium selbst diamagnetisch und ferner ward hierdurch die Ruhe der Luft in dem magnetischen Felde zu sehr gestört. Ich wandte daher Fangröhren an, d. h. an beiden Enden offene dünne Glasröhren, etwa von dem Umfange und der Länge eines Fingers, die, an kleinen Stativen

befestigt, nach Belieben über oder unter den Magnetpolen festgestellt werden konnten. Ueber den Polen benutzte ich im Allgemeinen drei zugleich, eine über der axialen Linie und eine zu beiden Seiten derselben. Befanden sie sich unter den Polen, so war das untere Ende ein wenig nach oben gekehrt, um so leichter beobachten zu können.

Das an den Polen strömende Gas enthielt, wie erwähnt (in Folge seiner Berührung mit dem getränkten Papier), ein wenig Salzsäure, aber nicht genug, um es sichtbar zu machen. Um erkennen zu lassen, durch welche der Fangröhren es ging, wurde ein Stückchen Fliesspapier, zusammengefaltet und durch einen Kupferdraht zusammengehalten, in Ammoniakflüssigkeit getaucht und in jede der Röhren eingehängt. So liess sich an dem Nebel, der sich über der einen oder anderen Röhre bildete, alsbald erkennen, ob und durch welche Röhre das Gas ging, und dabei blieb dies an dem Orte der magnetischen Wirkung vollkommen klar und durchsichtig

Ueberdies baute ich, um die Luft vor Störungen zu bewahren, um die Magnetpole und das Magnetfeld eine Schutzkammer von sechs Zoll Länge und je vier Zoll Breite und Höhe aus dünnen Glimmerplatten, die leicht in einem Augenblick zusammengesetzt und auseinandergenommen waren. Die Kammer wurde der Fangröhren wegen oder zum Entweichen der Gase oft oben oder unten mehr oder weniger offen gelassen und bot sehr grosse Vortheile dar.

Luft. — Zunächst wurde ein Luftstrom von unten zum Apparat geleitet, und zwar an der axialen Linie vorbei; in der Fangröhre darüber wurde er durch den Nebel sichtbar; allein die Bahn blieb dieselbe, der Magnet mochte in Thätigkeit gesetzt sein oder nicht. Dies beweist, dass so weit der Apparat seinen Zweck erfüllte und an sich keine Fehlerquelle war.

Stickstoff. — Dieses Gas wurde von unten hinaufgeleitet und ging direct durch die axiale Linie in die Fangröhre darüber. Als nun der Magnet in Thätigkeit gesetzt wurde, erlitt der Gasstrom eine Einwirkung, und obschon er in der mittleren Fangröhre nicht gehemmt wurde, so zeigten sich doch Theile desselben in den Seitenröhren. Man liess nun das Gas ein wenig seitwärts von der axialen Linie strömen, so dass es, ohne dass der Magnet erregt war, in die Höhe stieg und durch die mittlere Fangröhre ging; wurde dann der Magnet in Thätigkeit gesetzt, so erlitt es eine deutliche Einwirkung und ein grosser Theil desselben wurde nach der seitlichen Fangröhre gedrängt. Der Stickstoff erwies sich also thatsächlich diamagnetisch gegen gewöhnliche Luft von gleicher Temperatur wie er selbst; da aber die Atmosphäre zu vier Fünfteln aus Stickstoff besteht, so ergiebt sich hieraus mit aller Gewissheit, dass Stickstoff und Sauerstoff in ihrem magnetischen Verhalten sehr verschieden von einander sein müssen.

Sauerstoff. — Ein Sauerstoffstrom wurde durch die Luft zwischen den Polen herabgesandt und stieg vertical hinab, der Magnet mochte erregt

sein oder nicht; in keinem Falle bewegte er sich in äquatorialer Richtung. Da ich aber nach den obigen Versuchen mit Stickstoff Grund hatte zu vermuthen, dass der Sauerstoff in Luft nicht diamagnetisch, sondern magnetisch sei, so veränderte ich den Ort des Stromes und liess ihn zur Seite der axialen Linie gehen. Anfänglich sank er nun in eine darunter gestellte Fangröhre hinab; sobald aber der Magnet in Thätigkeit gesetzt ward, wurde der Strom abgelenkt und gegen die axiale Linie hingezogen und fiel nun in eine andere Fangröhre, die daselbst aufgestellt war, um ihn aufzufangen. Demnach scheint Sauerstoff in atmosphärischer Luft magnetisch zu sein. Ob es jedoch in Wirklichkeit so ist, oder ob er nur weniger diamagnetisch ist als Luft (ein Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff) werden wir später besser zu beurtheilen vermögen.

Wasserstoff. — Dieses Gas erwies sich deutlich und sogar stark diamagnetisch; denn trotz des kräftigen Auftriebs, den ein Wasserstoffstrom seines geringen specifischen Gewichtes wegen in der Atmosphäre hat, wurde er doch stark abgelenkt und in äquatoriale Richtung gedrängt. Bei der Leichtigkeit des Gases hätte man erwarten dürfen, dass er gegen die axiale Linie hingezogen werden würde, wie es mit einem Strom verdünnter Luft (könnte er existiren) geschehen würde. Sein diamagnetisches Verhalten zeigt also in schlagender Weise, dass der Diamagnetismus der Gase wie der festen Körper graduell verschieden und bestimmt ist.

Kohlensäure. — Dieses Gas gestattete einen schönen Versuch. Man liess es ein wenig seitwärts von der axialen Linie herabströmen; etwas weiter nach aussen war eine Fangröhre aufgestellt, in die der Strom klar herabsinken musste, so lange der Magnet nicht erregt war. Sobald aber Letzteres der Fall war, verliess der Strom seine verticale Richtung, ging in die äquatoriale über und sank dort in die Fangröhre herab, aus deren unterem Ende er, wie man bei horizontalem Hinsehen wahrnahm, wie Wasser ausfloss und weiter davon durch die Luft herabsank. Darauf wurde der Magnet ausser Thätigkeit gesetzt und unter die Fangröhre ein Glas mit Kalkwasser gestellt; obwohl die Flüssigkeit fortwährend umgerührt wurde, liess sich doch keine Kohlensäure wahrnehmen; sobald aber der Magnet erregt wurde, zeigte sich in der Fangröhre Kohlensäure, die in das Glas herabsank und das Kalkwasser trübte. Dieses Gas ist also in Luft diamagnetisch.

Kohlenoxyd. — Dieses Gas wurde vor dem Versuch sorgfältig von Kohlensäure befreit; ein absteigender Strom desselben war anscheinend stark diamagnetisch; es ist jedoch zu bemerken, dass es, da sein specifisches Gewicht nahezu dasselbe ist wie das der atmosphärischen Luft, sich darin leicht nach rechts und links zerstreut, und dass daher die Leichtigkeit, mit welcher die Zerstreuung erfolgt, kein genaues Maass seines Diamagnetismus ist. Etwas Ammoniak in der Glimmerkammer liess jedoch leicht erkennen, dass Kohlenoxyd mit beträchtlicher Kraft in äquatoriale Richtung getrieben

wurde, und hieraus schliesse ich, dass es stärker diamagnetisch ist als Kohlensäure.

Stickstoffoxydul. — Dieses Gas war mässig, aber deutlich diamagnetisch in Luft. Diese und andere Verbindungen von Stickstoff mit Sauerstoff bieten ein grosses Interesse dar, sowohl weil sie aus denselben Elementen bestehen wie die Luft, als auch wegen des Verhaltens des Sauerstoffs und Stickstoffs für sich.

Stickoxyd. — Dieses Gas liess ich sowohl auf- wie abwärts strömen, konnte aber seine magnetische Beschaffenheit nicht feststellen. Die Einwirkung des Sauerstoffs der Luft, die dadurch hervorgerufene Aenderung der Natur der Substanz und die Erwärmung veranlassten so viel zufällige Störung, dass ich bei der Kleinheit der magnetischen Wirkung des Resultats nicht sicher sein konnte. Im Ganzen erschien es so schwach diamagnetisch, dass die Erscheinung möglicherweise gar von den Nebelpartikeln, die dazu dienten, es sichtbar zu machen, herrührte.

Salpetrigsaures Gas. — Schwierig zu beobachten, aber ich glaube, dass es in Bezug auf Luft schwach magnetisch ist.

Oelbildendes Gas erwies sich gut diamagnetisch. Der geringe Unterschied zwischen dem specifischen Gewicht dieses Gases und der Luft macht es etwas schwierig, die Bahn des ölbildenden Gases zu verfolgen, und man muss es daher von allen Seiten beobachten.

Leuchtgas. — Das Londoner Leuchtgas ist leichter als Luft, sein specifisches Gewicht beträgt nur zwei Drittel von dem der letzteren. Es ist sehr gut diamagnetisch und liefert ausserordentlich gute und bestimmte Resultate.

Schwefligsäuregas ist in Luft diamagnetisch. Es wurde in einer flüssige schweflige Säure enthaltenden kleinen Röhre gebildet, die statt der Gasflasche mittelst der vulkanisirten Kautschukröhre mit dem Ausflussrohr und dem Mundstück verbunden wurde. Zum Nachweis des etwa in der Fangröhre vorhandenen Gases diente Ammoniak oder besser noch Lackmuspapier.

Salzsäure. — Die Retorte, in der das Gas entwickelt wurde, war, wie eben beschrieben, mit dem Ausflussrohr verbunden; es zeigte sich entschieden diamagnetisch in Luft.

Jodwasserstoffsäure erwies sich ebenfalls diamagnetisch in Luft. Bei reichlicher Gaszufuhr war der Eintritt des Stromes in und sein Durchgang durch die seitliche Fangröhre, sobald der Magnet in Thätigkeit gesetzt ward, sehr frappant. Bei geringerer Gaszufuhr zerstreute sich der Strom äquatorial in allen Richtungen und trat weniger in die Röhre ein.

Fluorsilicium. — In Luft diamagnetisch.

Ammoniak. — Dieses Gas wurde in einer Retorte entwickelt und zum Nachweis desselben in der oberen Fangröhre diente mit Salzsäure getränktes Papier. Es zeigte sich, entsprechend dem Charakter seiner Bestandtheile,

gut diamagnetisch; seine Gegenwart konnte übrigens auch durch geröthetes Lackmuspapier oberhalb der Röhren nachgewiesen werden.

Chlor, das man aus der Woulf'schen Flasche austreten liess, erwies sich entschieden diamagnetisch in Luft. Zum Nachweis seines Eintritts in die seitliche Fangröhre, so oft der Magnet erregt wurde, dienten entweder die sich bildenden Ammoniaknebel oder das Weisswerden von Lackmuspapier.

Jod. — Eine Glasröhre wurde zur Aufnahme des Jods so gestaltet, dass sie an ihrem unteren Ende eine Kammer bildete, die mit einer abwärts gerichteten verlängerten Mündung versehen war, durch welche der darin entwickelte Dampf austrat. Nach Einführung von etwas Jod in die Kammer wurde dieselbe, besonders an der Mündungsstelle, mittelst einer Weingeistflamme erhitzt; durch Neigung derselben bewirkte man, dass die Substanz an die heisseren Stellen gelangte, und es entwickelte sich nun eine reichliche Menge Joddampf, der aus der Mündung herabströmte. Dieser purpurne Strom erwies sich diamagnetisch in Luft, und wenn er nicht zu dicht war, konnte man sehen, wie er rechts und links von der axialen Linie abfloss. War er sehr dicht und schwer, so durchbrach er eben in Folge seiner Schwere, trotz der Wirkung des Magnets, die axiale Linie; dennoch war es unverkennbar, dass Jod in Luft diamagnetisch ist.

Brom. — In den horizontalen Theil des Austrittsrohres führte man etwas Brom ein und liess durch den bereits beschriebenen Apparat Luft über dasselbe streichen. Es verwandelte sich soviel Brom in Dampf, dass er die Luft gelb färbte und bewirkte, dass sie in einem Strom durch die axiale Linie herabsank. Durch etwas Ammoniak, das in der Nähe des magnetischen Feldes entwickelt wurde, liess sich nachweisen, dass dieser Strom diamagnetisch war, und daher darf man getrost schliessen, dass reiner Bromdampf es ebenfalls sein würde.

Cyan. — Stark diamagnetisch in Luft.

Nimmt man Luft als Vergleichssubstanz, so ist es sehr überraschend zu sehen, dass, so verschieden auch die Stärke des Diamagnetismus der Gase untereinander ist, es doch sehr wenige giebt, die nicht diamagnetischer sind als Luft; und wenn man die beiden Hauptbestandtheile der Luft, Sauerstoff und Stickstoff, in Betracht zieht, so ist der so schwache Diamagnetismus des Sauerstoffs, durch den der schwache Diamagnetismus der Luft bedingt ist, noch auffallender. Unter allen bisher untersuchten Gasen und Dämpfen scheint Sauerstoff die schwächste diamagnetische Kraft zu haben. Es ist noch fraglich, welche Stelle er einnimmt; er steht möglicherweise so tief wie ein Vacuum oder gehört gar auf die magnetische Seite: der Versuch giebt bisher noch keine Antwort auf diese Frage. Ich halte ihn für diamagnetisch und werde in dieser Meinung durch den später zu beschreibenden Einfluss der Wärme auf ihn bestärkt; aber er steht ausserordentlich tief in der Reihe, weit unter Chlor, Jod und ähnlichen Körpern.

Alle Verbindungen von Sauerstoff mit Stickstoff scheinen den Einfluss des Sauerstoffgehaltes darzuthun. Salpetrige Säure scheint weniger diamagnetisch zu sein als Luft. Stickoxyd gemengt mit Stickoxydul verhält sich in der Wärme ungefähr so wie Luft. Stickoxydul ist deutlich diamagnetisch in Luft, obschon es mehr Sauerstoff enthält; allein, es enthält auch mehr Stickstoff als Luft und ist auch dichter als sie, so dass hier doch mehr Masse zugegen ist; dennoch scheinen mir die Resultate zu Gunsten der Annahme, dass der Sauerstoff diamagnetisch sei, zu sprechen. Aus dem weiterhin beschriebenen Verhalten des Kohlenoxyds gegen Kohlensäure scheint sich zu ergeben, dass eine Vermehrung des Sauerstoffgehalts einen Körper weniger diamagnetisch macht. In Wahrheit dürfte sich jedoch hieraus ergeben, nicht dass der Sauerstoff magnetisch ist, sondern dass die specifische diamagnetische Kraft eines zusammengesetzten Körpers nicht gleich der Summe der Kräfte seiner Bestandtheile ist.

Mehr als eine blosse Muthmassung über die relative Stärke der diamagnetischen Kraft verschiedener Gase lässt sich sehr schwer gewinnen, wenn man sie ausschliesslich in Luft untersucht, weil alsdann manche Umstände vorhanden sind, die das Resultat zu verdunkeln vermögen. Zunächst ist es die Unsichtbarkeit des Gases, die es uns unmöglich macht, Alles mit dem Auge so zu verfolgen, um die beste Wirkung zu erhalten. Ferner kommt die Verschiedenheit im specifischen Gewicht; denn ein Gas, welches in einem raschen Strom aufsteigt oder niedersinkt, kann weniger abgelenkt zu sein scheinen als ein anderes, das langsamer strömt, obwohl ersteres stärker diamagnetisch ist, und Gase, deren specifisches Gewicht dem der Luft nahe kommt, müssen, gleichviel ob sie stärker oder schwächer diamagnetisch sind, sich fast gänzlich nach verschiedenen Richtungen hin zerstreuen, so dass nur wenig in die Fangröhre eintritt. Ein anderer Umstand, der Einfluss hat, ist der Abstand der Ausflussöffnung des Gases von der axialen Linie, welcher, um jedesmal die stärkste Wirkung zu erhalten, mit dem specifischen Gewicht und der diamagnetischen Stärke der Gase verändert werden muss. Ferner ist es wichtig, das magnetische Feld nicht mit dem zu untersuchenden Gase zu überfüllen und überhaupt im Allgemeinen nur einen mässigen Strom anzuwenden, was sich jedoch nach dem specifischen Gewicht richten muss.

Der einzige richtige Weg, zwei Gase mit einander zu vergleichen, ist demnach, das Verhalten des einen in dem des anderen zu untersuchen. Denn die Versuche mit Gasen in Gasen oder in Luft sind differentialer Natur und von ähnlicher Art wie die früheren Versuche mit Lösungen (Experimental-Untersuchungen, 2362 etc.). Ich ersetzte daher bei einigen Versuchen das umgebende Medium, die Luft, durch andere Gase, zunächst durch Kohlensäure, da es bequem ist, mit ihr zu experimentiren, und sie wahrscheinlich stärker diamagnetisch ist in Luft (ich spreche nur von den scheinbaren oder relativen Resultaten) als andere Gase.

Ich machte mir eine Art Trog oder Kasten von 13 Zoll Länge, 5 Zoll

Breite und 5 Zoll Höhe aus doppelten Lagen Wachspapier, stellte ihn auf die Enden des grossen Magnets, so dass die früher beschriebenen Polschuhe im Innern des Gefässes lagen. Dasselbe wurde mit Glimmerplatten lose bedeckt und bildete eine längliche rechteckige Kammer, welche die Magnetpole und das magnetische Feld einschloss. Alle Einrichtungen hinsichtlich des magnetischen Feldes, des Ausflussrohres, der Fangröhren u. s. w. waren die früheren. Durch eine an einer Ecke des Kastens eintretende Röhre wurde dieser mit Kohlensäure gefüllt, und von Zeit zu Zeit eine neue Menge Gas eingeführt, sobald sein früherer Inhalt durch Gase oder Luft zu verdünnt geworden war. Alles war vollkommen zweckentsprechend, und es liessen sich leicht folgende Resultate erhalten.

Luft ging axial, war also weniger diamagnetisch als Kohlensäuregas.

Sauerstoff ging, wie zu erwarten war, zur magnetischen Axe.

Stickstoff ging äquatorial, war also selbst in Kohlensäure diamagnetisch.

Wasserstoff, *Steinkohlengas*, *ölbildendes Gas*, *Salzsäure* und *Ammoniak* gingen in Kohlensäure äquatorial, waren also in Bezug auf diese deutlich diamagnetisch.

Kohlenoxyd erwies sich sehr deutlich diamagnetisch in Kohlensäuregas. Hierbei scheint der Einfluss des Sauerstoffs sehr gut hervorzutreten. Gleiche Volumina Kohlenoxyd und Kohlensäure enthalten gleiche Mengen Kohlenstoff, das erstere jedoch nur halb so viel Sauerstoff als letztere. Dennoch ist es stärker diamagnetisch als diese; trotzdem also der Sauerstoffgehalt der Kohlensäure doppelt so gross ist als der des Kohlenoxyds, so wird hierdurch doch der Diamagnetismus der ersteren nicht verstärkt, sondern vielmehr geschwächt.

Stickoxydul scheint in Bezug auf Kohlensäure schwach diamagnetisch zu sein, während Stickoxyd das entgegengesetzte Verhalten zeigte und gegen die axiale Linie hin ging. Demnach scheint Kohlensäure zwar stärker diamagnetisch zu sein als Luft, aber doch nicht gar so viel, und sie verdankt die Stelle, die sie einnimmt, wahrscheinlich ihrem Sauerstoffgehalt. Dass Stickoxydul ihr anscheinend nahe steht, scheint ebenfalls in hohem Maasse von seinem grossen Sauerstoffgehalt bedingt zu sein. Dennoch ist klar, dass die Wirkung nicht in *directem* Verhältniss zum Sauerstoff steht, da sonst atmosphärische Luft stärker diamagnetisch sein müsste als sie beide. Es scheint vielmehr, dass die Kräfte modificirt werden, wie es auch beim Eisen und Sauerstoff der Fall ist, und dass jeder zusammengesetzte Körper seine eigenthümliche aber constante Kraftintensität besitzt.

Um ähnliche Versuche in leichten Gasen zu machen, wurden die beiden Polschuhe des Magnets gehoben, so dass sie mit einer Glasglocke bedeckt werden konnten, die mit ihrem Untersatz eine sie gut umschliessende Kammer bildete. Das Rohr zum Einführen und zur Vertauschung des gasförmigen Mediums, sowie das Rohr, durch welches das der Untersuchung zu unterwerfende Gas in einem Strome in das magnetische Feld treten sollte, gingen durch den Boden des Untersatzes. Ausgenommen Ammoniak und Chlor, war den Gasen,

welche mit den sie als Medien umgebenden verglichen werden sollten, wie früher beschrieben, eine Spur Salzsäure beigemengt. Als Media wandte ich Steinkohlengas und Wasserstoff an. Bei Anwendung des Steinkohlengases beobachtete ich die Richtung der Ströme der anderen Gase in demselben, indem ich ein an einem Draht befestigtes, mit Ammoniakflüssigkeit getränktes Stückchen Papier in die Nähe des Stromes brachte. Dem Wasserstoff mengte ich von vornherein ein wenig Ammoniak bei.

Luft ging in Steinkohlengas gegen die axiale Linie hin, wurde aber im Uebrigen nicht sonderlich beeinflusst.

Sauerstoff schien stark magnetisch zu sein in Steinkohlengas, da es mit grosser Heftigkeit zur magnetischen Axe ging und daselbst hängen blieb; hatte man absichtlich viel Salmiaknebel gebildet, so wurde er durch den Sauerstoff mit solcher Gewalt in das magnetische Feld fortgeführt, dass er die Enden der Magnetpole einhüllte. Setzte man den Magnet einen Augenblick ausser Wirksamkeit, so senkte sich diese Wolke in Folge ihrer Schwere herab; wurde aber der Magnet, als die Sauerstoffwolke sich schon ganz unterhalb der Pole befand, abermals erregt, so stieg sie augenblicklich in die Höhe und nahm ihren früheren Platz ein. Die Anziehung von Eisenfeilspänen durch einen Magnetpol ist nicht auffallender als die Erscheinung, welche der Sauerstoff unter diesen Umständen darbot.

Stickstoff. — Deutlich diamagnetisch in Steinkohlengas.

Oelbildendes Gas, Kohlenoxyd und *Kohlensäure* waren alle mehr oder weniger schwach diamagnetisch in Steinkohlengas.

Als Wasserstoff, statt des Steinkohlengases, das umgebende Medium bildete, wurde noch grössere Sorgfalt auf die Versuche verwandt. Mit jedem Gase wurde der Versuch wenigstens zweimal gemacht, und bei dem zweiten Male die Wasserstoffatmosphäre erneuert.

Luft. — Luft geht in Wasserstoff axial, wenn wenig Nebel darin ist; enthält der Strom viel Nebel, so ist er entweder indifferent oder strebt äquatorial zu gehen. Luft und Wasserstoff können meiner Meinung nach nicht weit von einander stehen.

Stickstoff ist auffallend diamagnetisch in Wasserstoff.

Sauerstoff ist ebenso auffallend magnetisch in Bezug auf Wasserstoff und zeigt die bereits beim Steinkohlengas beschriebenen Erscheinungen. Als jedoch der Sauerstoffstrom ein wenig seitwärts von der axialen Linie herabstieg, wurde seine Centrifugalkraft in Bezug auf diese Linie durch die von der magnetischen Wirkung erzeugte Centripetalkraft so aufgewogen, dass er anfangs in einem regelmässigen Ringe um die axiale Linie rotirte und eine Wolke bildete, die fortfuhr, um dieselbe zu wirbeln, so lange der Magnetismus in Wirksamkeit blieb, aber mit dem Verschwinden desselben unten aus der Kammer heraustrat.

Stickoxydul. — Dieses Gas war deutlich diamagnetisch in Wasserstoff und gab, weil es auf den Sauerstoff folgte, Anlass zu einer sehr schönen

Erscheinung. Denn zu Anfang des Versuches ging das Bischen Sauerstoff, das in der Ausflussröhre zurückgeblieben war, axial; aber sobald derselbe ausgetrieben war und Stickoxydul vorwärts ging, änderte der Strom seine Richtung und zeigte sich hierdurch in der auffallendsten Weise diamagnetisch.

Stickoxyd. — Dieses Gas ging in Wasserstoff axial, ist also in Bezug auf denselben magnetisch.

Ammoniak. — Diamagnetisch in Wasserstoff.

Kohlenoxyd, Kohlensäure und *ölbildendes Gas* erwiesen sich diamagnetisch in Wasserstoff, das letztere am meisten und die Kohlensäure anscheinend am wenigsten.

Chlor war schwach aber deutlich diamagnetisch in Wasserstoff; möglicherweise waren die Wolkentheilchen zum grossen Theil schuld an der Kleinheit der Wirkung.

Salzsäuregas. — Ich glaube, dass es schwach diamagnetisch im Wasserstoff war.

Trotz der vielen störenden Ursachen, welche bei ersten und hastigen Versuchen dieser Art auftreten und Resultate hervorbringen, die einander zuweilen widersprechen, ergeben sich doch, wenn man die Gase bei derselben Temperatur mit einander vergleicht, einige sehr auffallende Betrachtungen. Vor Allem ist es die Stelle, welche der Sauerstoff unter den Gasen einnimmt; denn von allen bisher untersuchten gasförmigen Körpern ist er der am wenigsten diamagnetische und scheint in dieser Beziehung ganz abgesondert von den übrigen zu stehen. Der Stickstoff ist wegen seiner stark diamagnetischen Eigenschaft gleichfalls wichtig. Die Stelle, die der Wasserstoff einnimmt, der weniger diamagnetisch ist als Stickstoff, die des Chlors, das nicht etwa dem Sauerstoff nahe, sondern über dem Wasserstoff steht, sowie die des Jods, das wahrscheinlich weit über Chlor steht, sind bemerkenswerthe Umstände.

Die *Luft* verdankt offenbar ihre Stelle dem diamagnetischen Charakter des Sauerstoffs und Stickstoffs und dem Verhältniss beider zu einander. Die grosse Verschiedenheit dieser beiden Körper in magnetischer Beziehung und das auffallende Verhalten des Sauerstoffs in Steinkohlengas und Wasserstoff, Körpern, deren magnetische Kraft nicht sehr von der des Stickstoffs abweicht, liessen mich glauben, dass es nicht unmöglich sein dürfte, die Luft lediglich durch die magnetischen Kräfte in ihre beiden Hauptbestandtheile zu trennen. Ein zu diesem Zwecke gemachter Versuch blieb ohne Erfolg, aber ich bin nicht überzeugt, dass er nicht gelingen könne. Denn da wir gewisse Gase, und insbesondere diese beiden, durch ihre magnetischen Eigenschaften wirklich unterscheiden können, scheint es nicht unmöglich zu sein, durch eine hinlänglich starke Kraft die Trennung des Gemenges zu bewirken.

Im Laufe dieser Versuche unterwarf ich einige der Gase dem Einfluss der Wärme, um zu ermitteln, ob auch sie hierdurch eine Verstärkung des

Diamagnetismus erfahren, wie die atmosphärische Luft (2854). Zu diesem Zwecke brachte ich eine Platinspirale in der Mündung der zwischen den Polen unterhalb der magnetischen Axe befindlichen Ausflussröhre an. Mittelst einer kleinen Volta'schen Batterie liess sich die Spirale auf eine beliebige Temperatur bringen, und mit Hülfe des oben beschriebenen Woulf'schen Apparates konnte das Gas durch die Spirale aufwärts quer durch das magnetische Feld geleitet werden. Ob das Gas direct zwischen den Polen in die Höhe ging, oder ob es bei Erregung des Magnets diese Richtung verliess und zwei äquatoriale Seitenströme bildete, liess sich leicht feststellen, entweder durch das Gefühl mit dem Finger oder mit einem oben in einer Röhre angebrachten Thermoskop, das aus einem spiralförmig gewundenen Platin- und Silberblech bestand. In jedem Falle war das heisse Gas diamagnetisch in Luft, und ich glaube stärker als bei gewöhnlicher Temperatur. Die untersuchten Gase waren Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Stickoxydul, Kohlensäure, Salzsäure, Ammoniak, Steinkohlengas, ölbildendes Gas.

Da jedoch die umgebende Luft in diesen Versuchen sich nothwendig dem erhitzten Gase beimengte und so einen Bestandtheil des erhitzten Stromes bildete, ordnete ich die Platinspirale so an, dass ich sie in einem gegebenen Gase erhitzen und ein Gas mit sich selbst bei verschiedenen Temperaturen vergleichen konnte.

Ein heisser Sauerstoffstrom war in kaltem Sauerstoff stark diamagnetisch. Wie stark die Wirkung war, mag man aus Folgendem beurtheilen. Als die Platinspirale unterhalb der axialen Linie in's Glühen versetzt wurde, war die Wärmewirkung auf das in einer Röhre über der axialen Linie befindliche Metallthermoskop derart, dass dessen unteres Ende anderthalb Umdrehungen machte, also sich um 540^0 drehte; wenn nun der Magnet erregt wurde, kehrte der Zeiger des Thermoskops in seine ursprüngliche Lage zurück, wie wenn die in's Glühen versetzte Spirale darunter auf gewöhnliche Temperatur gekommen oder fortgenommen worden wäre, während doch in dieser Beziehung nichts geändert worden war. Brachte man den Magnetismus zum Verschwinden, so nahm der heisse Sauerstoffstrom sofort wieder seinen verticalen Lauf und wirkte auf das Thermoskop wie vorher ein.

Heisse Kohlensäure erwies sich in kalter diamagnetisch und die Wirkungen schienen ebenso gross zu sein wie in Sauerstoff.

Mit Wasserstoff erhielt ich unter denselben Umständen kein Resultat bezüglich des Verhaltens des heissen und kalten Gases zu einander; weder bei Gegenwart noch bei Abwesenheit der magnetischen Kraft erhielt ich ein Anzeichen einer Wärmewirkung auf das darüber befindliche Thermoskop, selbst dann nicht, wenn die nur einen Zoll darunter befindliche Platinspirale nahezu weissglühend war. Dies ist, wie ich glaube, grossentheils bedingt von der Schnelligkeit, mit welcher der Wasserstoff im Vergleich zu anderen Gasen sich erhitzt und erkaltet, sowie auch von der Nähe der

die Magnetpole bildenden kalten Eisenmassen, zwischen denen das heisse Gas seinen Weg aufwärts zu nehmen hatte. Höchstwahrscheinlich hängt dies mit der von Grove beobachteten Thatsache zusammen, dass ein Platindraht in Wasserstoff schwer zum Glühen zu bringen ist.

Heisses Steinkohlengas erwies sich, wenn die in's Glühen versetzte Spirale sich in dem Gase befand, diamagnetisch gegen kaltes, wie in all den anderen Fällen. Hier zeigte sich wiederum ein dem in Wasserstoff beobachteten ähnlicher Effect; denn wenn der Magnet nicht erregt war, bewirkte der aufsteigende Strom des heissen Steinkohlengases eine Drehung des Metallthermoskops um nur 280^0 bis 300^0, während dieselbe wie oben 540^0 betrug, wenn das umgebende Gas Sauerstoff, Luft oder Kohlensäure war, und zwar erfolgte die geringere Drehung selbst in dem Falle, dass die Temperatur der Spirale in dem Steinkohlengase höher war als in einem der anderen Gase.

Demnach ist der Beweis erbracht, dass Sauerstoff, Kohlensäure und Steinkohlengas bei höherer Temperatur stärker diamagnetisch sind als bei niedrigerer. Dasselbe gilt von der Luft; und da diese zu vier Fünfteln aus Stickstoff und nur zu einem Fünftel aus Sauerstoff besteht und ihr Diamagnetismus durch die Temperatur ebenso stark beeinflusst wird wie der des Sauerstoffs, so ist klar, dass heisser Stickstoff zu kaltem sich ebenso verhält.

In Betreff der anderen Gase hege ich keinen Zweifel, obschon man sie, um ganz sicher zu sein, in Atmosphären ihrer eigenen Substanz (2854) oder in Gasen, die bei gewöhnlicher Temperatur stärker diamagnetisch sind als sie selbst, untersuchen müsste. Oelbildendes Gas und Steinkohlengas ertragen, wenn sie sich ausserhalb der Ausflussröhre befinden, leicht eine helle Rothglühhitze der Spirale, ohne sich zu entzünden; beim Wasserstoff darf die Spirale keine so hohe Temperatur haben. Bei der Salzsäure und dem Ammoniak liess sich die Zweitheilung des Stromes sehr schön beobachten, wenn man blaues und rothes Lackmuspapier darüber hielt.

Zum Beobachten der diamagnetischen Beschaffenheit der Flammen und zum Experimentiren mit verschiedenen Gasen giebt es noch eine andere Methode, die zuweilen zweckmässig ist, und die man jedenfalls kennen muss, da sie sonst leicht zu Irrthümern führen könnte. Ich besitze ein Paar Polschuhe, die horizontal durchbohrt sind, so dass ein Lichtstrahl durch sie hindurchtreten kann. Die gegenüberliegenden Flächen dieser verticalen Pole sind nicht, wie die früheren, abgerundete Kegelenden, sondern können, obwohl sie abgerundete Kanten haben, auf einer Flächenausdehnung von einem Zoll Durchmesser als flach angesehen werden. Die Durchbohrungen haben die Form eines Kegels, dessen Abstumpfung an dieser flachen Seite mehr als einen halben Zoll im Durchmesser hält. Wenn diese Pole 0,3 bis 0,4 Zoll von einander abstanden, blieb eine frei zwischen ihnen brennende Wachskerze einige Augenblicke lang nach Erregung des

Magnets unverändert, änderte dann aber plötzlich ihre Gestalt, dehnte sich in axialer Richtung aus und zertheilte sich in zwei horizontale Zungen, welche in die Durchbohrungen der Pole eintraten, und dies dauerte so lange, als der Magnetismus unterhalten wurde; kein Theil derselben ging äquatorial.

Eine grosse Flamme, die man mittelst einer Baumwollenkugel und Aether erhielt, wurde durch den Magnetismus in zwei Arme zertheilt, die wie vorher in äquatorialer Richtung auseinandertraten, und zwei andere Zweige gingen durch die Durchbohrungen der Pole und traten zuweilen sogar an den anderen Enden derselben aus.

Sehr gut war der Effect, wenn die Pole ungefähr 0,25 Zoll von einander abstanden und die rauchende Wachskerze sich in der Mitte zwischen ihnen im Niveau mit der Mitte der Durchbohrungen befand; der Rauch ging axial und trat an den einander abgewandten Enden der Durchbohrungen der Pole aus.

Steinkohlengas, das man an derselben Stelle ausfliessen liess, ging ebenfalls axial, d. h. es trat in die Durchbohrungen der Pole ein und bewegte sich parallel zur Verbindungslinie derselben.

Einige Ueberlegung führt leicht zur Erkenntniss der wahren Ursache dieser Erscheinungen und zeigt deren Uebereinstimmung mit den früheren Resultaten. Das Gesetz aller dieser Wirkungen ist, dass, wenn ein frei bewegliches Theilchen stärker diamagnetisch (oder schwächer magnetisch) ist als andere, in deren Mitte es sich befindet, es von Orten stärkerer zu Orten schwächerer magnetischer Wirkung, und weniger diamagnetische Theilchen umgekehrt von Orten schwächerer zu Orten stärkerer Wirkung hin gehen. Nun fällt bei den eben beschriebenen Polen die Linie des Kraftmaximums nicht mit der Axe der Durchbohrungen der Pole zusammen, sondern in einen Kreis, dessen Durchmesser wahrscheinlich etwas grösser ist als der Durchmesser der Durchbohrungen, während die Linien innerhalb dieses Kreises von geringerer Intensität sind, die nach dem Mittelpunkte hin abnimmt. Daher wird ein heisses Theilchen innerhalb dieses Kreises nach innen getrieben, und da es von anderen gleichfalls nach innen getriebenen Theilchen fortgedrängt, seinen Ausweg an den anderen Enden der Durchbohrungen findet, so hat es den Anschein, als ginge es in axialer Richtung; dagegen wird ein heisses Theilchen ausserhalb der Kreislinie des Kraftmaximums nach aussen getrieben und bildet so mit anderen die beiden Zungen der Flamme, die in äquatorialer Richtung auseinandertreten. Man kann die Kreislinie des Maximums der magnetischen Kraftintensität sehr schön verfolgen, wenn man die glühende Kerze an verschiedene Stellen bringt, und je nachdem man dieselbe innerhalb oder ausserhalb dieses Kreises aufstellte, konnte man bewirken, dass der Rauch axial oder äquatorial ging.

Einen Apparat, den ich construirte, um von diesem Gesichtspunkte aus die Gase zu untersuchen, fand ich nicht besser oder nicht einmal so gut als den beschriebenen.

Dies sind die Resultate, die ich erhalten habe in dem Bemühen, Bancalari's Entdeckung zu verificiren und zu erweitern. Ich würde dieselbe noch viel weiter verfolgt haben, wenn mein gegenwärtiger Gesundheitszustand es mir gestattet hätte; so aber dürfte die Arbeit, die ich Ihnen sende, manche Unvollständigkeit aufweisen. Es ist nunmehr nahezu bewiesen, dass viele Gase diamagnetische Eigenschaften haben, und wahrscheinlich wird dies von allen gelten. Ich sage nahezu, denn es ist thatsächlich noch nicht völlig bewiesen. Wohl ist bewiesen, dass viele, ja die meisten gasigen Körper der magnetischen Kraft unterliegen, allein der Nullpunkt ist noch nicht festgestellt. So lange aber dies nicht der Fall ist, können wir nicht sagen, welche Gase zu den diamagnetischen, und welche zu den magnetischen Körpern gehören, und ob nicht am Ende mehrere am Nullpunkte stehen. Offenbar ist es an sich nicht unmöglich, dass manche Gase oder Dämpfe magnetisch und andere weder magnetisch noch diamagnetisch sind. Derartige Fragen kann allein der Versuch entscheiden, und so lange ein solcher Beweis nicht erbracht ist, lässt sich weder das Eine noch das Andere behaupten, welche theoretischen Gründe man auch zu Muthmassungen haben mag.

Was mich betrifft, so habe ich immer geglaubt, dass das Vacuum der Nullpunkt sei und kein wirklicher Körper ihn einnehme. Allein wiewohl ich mich gehütet habe, mehr zu sagen, als ich wusste, so scheinen doch Zantedeschi (auch de la Rive, glaube ich) und einige Andere zu meinen, dass ich behauptet hätte, die Gase unterliegen *nicht* der magnetischen Kraft, während ich nur habe sagen wollen, dass ich es nicht finden konnte, und dass es vielleicht nicht der Fall ist. Ich will daher einige meiner Worte aus den Experimental-Untersuchungen anführen. Indem ich von der Bereitung eines am Nullpunkte stehenden flüssigen Mediums spreche, sage ich: „So erhielt man ein *flüssiges* Medium, welches praktisch, soviel ich sehen kann, ganz den magnetischen Charakter und Erfolg hat wie ein Gas *und selbst wie ein Vacuum* etc.“ (Experimental-Untersuchungen, 2423). Ferner sage ich (2433): „Früher glaubte ich, Luft und Gase, Körper, die man ohne Zusatz verdünnen kann, würden entsprechende Aenderungen ihrer magnetischen Eigenschaften aufweisen; allein thatsächlich *scheint* die Verdünnung hierauf gar keinen Einfluss zu haben.“ Und ferner (2435): „Ob die negativen Resultate mit Gasen und Dämpfen der *geringeren Masse* in einem gegebenen Volumen zuzuschreiben, oder ob sie unmittelbare Folgen des geänderten physikalischen Zustandes der Substanz seien, ist für die Theorie des Magnetismus eine Frage von sehr grosser Wichtigkeit. Zur Aufhellung derselben habe ich einen Versuch . . . ersonnen, aber ich bin gefasst, bei seiner Ausführung auf grosse Schwierigkeit zu stossen etc.“ Glücklicherweise hat dieser Gegenstand nun durch Bancalari's Entdeckung eine befriedigende Erledigung gefunden; allein, wo der wahre Nullpunkt, oder dass jedes Gas diesseits oder jenseits mehr oder weniger entfernt von ihm liege, ist bisher noch nicht experimentell gezeigt oder bewiesen.

Ich kann diesen Brief nicht schliessen, ohne die Hoffnung auszusprechen, dass, da die Gase, wie sich nun gezeigt hat, dem magnetischen Einfluss unterliegen, man auch bald finden wird, dass sie unter Einwirkung des Magnetismus die Fähigkeit haben, das Licht zu beeinflussen (Experimental-Untersuchungen, 2186, 2212). Auch kann ich nicht umhin, auf die sehr merkwürdige und directe Beziehung zwischen der Wärme und dem Magnetismus hinzuweisen, welche aus den Versuchen über die Flammen und heisse Luft und Gase hervorgeht. Früher (Experimental-Untersuchungen, 2397) habe ich keine merkliche Einwirkung der Wärme auf starre diamagnetische Körper finden können, aber ich werde die Versuche wiederholen und weiter ausdehnen, falls dies nicht bereits von den italienischen Physikern geschehen ist. Was die Wirkung auf die diamagnetischen Gase betrifft, so erfolgt sie, allgemein gesprochen, in demselben Sinne wie die der Wärme auf Eisen, Nickel und Cobalt, d. h. in beiden Fällen strebt die Wärme entweder die magnetische Kraft zu vermindern oder die diamagnetische Kraft zu verstärken; allein bisher sind der Resultate noch zu wenige, um einen allgemeinen Schluss zu gestatten.

Da das diamagnetische Verhalten der Luft bei verschiedenen Temperaturen ein verschiedenes ist, und da die Luft in höheren Schichten eine andere Temperatur besitzt als in tieferen und beständig dem Einfluss des Erdmagnetismus unterworfen ist, so ist es möglich, dass diese Umstände einen allgemeinen Einfluss auf ihre Bewegung haben.

Der Kürze halber habe ich in diesem Briefe häufig davon gesprochen, dass die Körper gegen einander magnetisch oder diamagnetisch seien, allein ich hoffe, dass dieser Ausdruck zu keinem Missverständniss über meine Meinung Anlass geben und die klare Unterscheidung beider Classen nicht verdunkeln wird, zumal da ich meine Ansicht über den wahren Nullpunkt erst auf der vorigen Seite mitgetheilt habe.

Ich bin, mein werther Herr,

An Richard Taylor, Esq.,
Ed. Phil. Mag. etc. etc.

Ihr etc.

M. Faraday.

Ueber die Bewegungen der Flammen unter elektromagnetischem Einfluss; von Zantedeschi.

Zu allen Zeiten haben die hervorragendsten Physiker die Universalität des Magnetismus der Körper behauptet[1]), und nur Faraday hat in unseren Tagen den expansiblen Flüssigkeiten die Stelle am Nullpunkte in der Reihe der magnetischen und diamagnetischen Körper angewiesen. Am 21. September 1847 hat der Pater Bancalari, Professor der Physik an der Königlichen Universität zu Genua, in der physikalischen Section des neunten italienischen wissenschaftlichen Congresses zu Venedig eine Abhandlung über die Universalität des Magnetismus gelesen, und der Gegenstand wurde von den Physikern für so wichtig gehalten, dass der Wunsch laut wurde, hauptsächlich die Wirkung des Magnetismus auf expansible Flüssigkeiten zu verificiren. In der Sitzung vom 27. September kündigte der Berichterstatter Belli an, dass in Gegenwart mehrerer Physiker gezeigt worden ist, dass eine Flamme zwischen den Polen eines Elektromagnets im Augenblicke des Stromschlusses abgestossen wurde und bei Unterbrechung des Stromes augenblicklich in ihre ursprüngliche Lage zurückkehrte. Dieser Entdeckung wurde in der Sitzung vom 28. September ihr wohlverdientes Lob von Seiten des Generalsecretärs und des Secretärs der physikalischen Section zu Theil. Einige wünschten Bancalari's Versuch zu sehen, und ich bemühte mich, denselben mit einer bereit stehenden Batterie aus zehn Daniell'schen Elementen von je achtzehn Centimeter Durchmesser in dem physikalischen Cabinet des K. K. Lyceums zu Venedig zu wiederholen; allein es gelang mir nicht, die angegebene Erscheinung zu sehen. Mein temporärer Magnet besass eine Tragkraft von mehr als 48 Kilogramm. Da jedoch mein Grundsatz ist, dass ein negatives Resultat niemals ein positives aufhebt, so bat ich den Mechaniker Cobres um nähere Auskunft über die Einzelheiten des Apparates, da Belli in seinem Bericht darüber nicht gesprochen hatte und sie Zambra, dem Secretär der Section, entfallen waren. Ich wusste, dass die beiden Weicheisenstücke, die den unterbrochenen Anker bildeten, in axialer

---

[1]) Raccolta Fisico-Chimica Italiana, t. III. Dei corpi magnetici e diamagnetici.

Richtung durchbohrt waren. Ich vermuthete, dass die Abstossung der Flamme nicht die unmittelbare Wirkung des Magnetismus war, sondern eine Folge zweier aus den Oeffnungen des durchbohrten Ankers austretender Luftströme, die aus einer durch den Magnetismus erzeugten Wirbelbewegung entstehen, wie sie der berühmte Faraday in Flüssigkeiten beobachtet hat[1]), und in dieser Vermuthung wurde ich durch das negative Resultat des Versuches, welches ich in Venedig mit undurchbrochenen Ankerstücken angestellt hatte, bestärkt. Bei meiner Ankunft in Turin theilte ich meine Zweifel den beiden wohlbekannten Mechanikern Jest, Vater und Sohn, mit, die mit der Geschicklichkeit ihres Berufes eine seltene Zuvorkommenheit verbinden. Sie versahen mich bald in ihrem Laboratorium mit einer Bunsen'schen Batterie und verfertigten nach meiner Angabe Ankerstücke von weichem Eisen, volle und durchbohrte, von parallelepipedischer und cylindrischer Gestalt, und ich wiederholte die Versuche in ihrer Gegenwart, Der temporäre Magnet in Hufeisenform war aus einem Cylinder von weichem Eisen von $0^m,335$ Länge und $0^m,015$ Durchmesser gebildet; die Magnetisirungsspirale bestand aus 33 m langem Kupferdraht von 1,33 mm Durchmesser; der innere Abstand der Pole betrug $0^m,027$, die beiden den unterbrochenen Anker bildenden massiven parallelepipedischen Ansatzstücke waren $0^m,04$ lang und die Seitendimensionen $0^m,011$ und $0^m,006$, die hohlen Ansatzstücke $0^m,035$ lang und $0^m,009$ breit und tief. Ihr Abstand von einander betrug vier bis fünf Millimeter, der Magnet war aufrecht gestellt, mit den Polen aufwärts. Vor dem Zwischenraum, der die Ansatzstücke trennte, wurde die Flamme einer kleinen Kerze oder einer kleinen Oel- oder Alkohollampe aufgestellt, so dass sie beinahe um ein Viertel der Dicke der Ansatzstücke über diese hervorragte. Zur Schliessung des Stromes dienten Kupferdrähte, und die metallischen Verbindungen wurden sowohl an den Magnetpolen wie an den Polen der Säule mittelst Klemmschrauben bewirkt. Einer der Drähte war in zwei gleiche Theile zerschnitten, die in Quecksilbernäpfe tauchten, um so den Stromkreis nach Belieben zu schliessen und zu öffnen.

Beim Schliessen der Batterie habe ich stets Abstossung beobachtet, die so lange währte, als der Magnetismus unterhalten blieb, und beim Oeffnen derselben sah ich die Flamme wieder in ihre ursprüngliche Stellung zurückkehren. Wohl befriedigt, in dieser Weise diese wichtige Thatsache, welche ihrem Entdecker zur Ehre gereicht, bestätigt zu haben, beschäftigte ich mich weiter mit dem Studium der Erscheinung und fand:

I. Dass sie bei Anwendung von massiven sowohl als auch hohlen Ansatzstücken eintritt; ich liess daher meinen Verdacht, dass die Bewegung der Flamme von Luftströmungen herrühre, fallen und habe mich überzeugt

---

[1]) Raccolta etc. t. II. Relazione dell' influenza delle forze elettriche e magnetiche sulla luce ed il calorico.

dass sie eine unmittelbare Wirkung des Magnetismus auf die Flamme ist, — eine Thatsache von grösster Wichtigkeit für die Wissenschaft.

II. Dass die Abstossung, wenn sie ganz deutlich, und die Flamme ganz rein ist und in einer wohlgestalteten Spitze endigt, von einer Depression begleitet ist; bei Schliessung des Stromes beobachtet man Abstossung und Depression gleichzeitig, bei Oeffnung ebenso die Rückkehr und Wiedererhebung der Flamme.

III. *Dass* unter sonst gleichen Umständen *die grösste Wirkung stattfindet, wenn die Flamme den Scheitel der durch Eisenfeile dargestellten magnetischen Curven berührt.*

IV. *Dass die Wirkung Null oder fast Null ist, wenn die Flamme sich in der Mitte zwischen den Ansatzstücken befindet.*

V. *Dass zum Auftreten der eben genannten Erscheinungen eine völlige Trennung der Ansatzstücke nicht erforderlich ist.* Sie können einen Winkel mit einander bilden und sich an zwei Kanten berühren; eine in die Grundlinie des so gebildeten Dreiecks gestellte Flamme zeigt im Allgemeinen die beiden angegebenen Erscheinungen.

VI. *Dass die Ansätze (oder Ankerstücke) bei einer gewissen Masse am wirksamsten sind; jenseits einer Grenze, die sich durch den Versuch ermitteln lässt, wird die Wirkung durch eine Vermehrung der Masse geschwächt.* Hierin finde ich den Grund der negativen Resultate, die meine ersten in Venedig angestellten Versuche ergeben hatten.

VII. *Dass die Bewegungen der Flamme mit der Anzahl der Plattenpaare der Batterie zunehmen. Mit einem Plattenpaar konnte ich die Erscheinung nicht wahrnehmen*[1]*; mit zwei Plattenpaaren begannen die Bewegungen sich zu zeigen, mit drei wurden sie deutlich und nahmen mit einer Vermehrung der Plattenpaare bis zu zehn, der grössten Anzahl, die ich bei diesem Versuche anwandte, zu. Die Plattenpaare waren von der bekannten gewöhnlichen Grösse.*

Bei Wiederholung der obigen Versuche gebrauchte ich die Vorsichtsmassregel, den Apparat mit einer oben offenen Glocke zu bedecken, die auf zwei Scheiben stand und der Luft zur Unterhaltung der Verbrennung freien Zutritt gestattete. Auf diese Weise waren alle stürmischen Bewegungen und alle Störungen vermieden.

Beim Schlusse dieses Aufsatzes darf ich nicht vergessen zu erwähnen,

---

[1]) Am letzten Abend verfertigten die HH. Jest für mich einen ringförmigen Elektromagnet, der durch einen prismatischen Ausschnitt von zwei Millimeter Länge unterbrochen war, und hiermit habe ich die Erscheinung ohne Anwendung von Ansatzstücken mit einem einzigen Element deutlich erhalten. Die Bewegungen der Flamme waren am deutlichsten, wenn sie sich in grösserer Nähe des Ausschnittes befand.

Der vollständige ringförmige Apparat mit Glasglocke und Zubehör, jedoch ohne Elektromotor, kostet bei den HH. Jest in Turin dreissig Francs.

dass der berühmte Gazzaniga auf Grund seiner zahlreichen Versuche, welche die Wirkung des Magnetismus auf dieselben luftförmigen Flüssigkeiten in einer von Bancalari abweichenden Weise darthun, sich veranlasst sah, die Sonne und alle übrigen Himmelskörper als eben so viele mächtige Magnete zu betrachten und die Ansicht aufzustellen, dass die Anziehung nichts Anderes sei als eine Wirkung des Magnetismus der grossen in ungeheurer Entfernung befindlichen Himmelskörper. Diese Ansicht wurde 1846 in Preussen und 1847 in Frankreich wiederholt, wie wir aus den *Comptes Rendus* der Pariser Akademie der Wissenschaften ersehen. Die geheimnissvolle Wirkung der Attraction in die Ferne ohne Zwischenmittel wäre auf diese Weise beseitigt, und die Attractionserscheinungen würden sich wiederum denen der gewöhnlichen Dynamik anschliessen.

Aus der Gazz. Piem.,
12. Oct. 1847, No. 242.

Ueber den Nutzen der Guttapercha für die elektrische Isolation.[1])

Mein lieber Philipps,

Neuerdings fand ich, dass Guttapercha bei elektrischen Versuchen sehr gute Dienste leistet, und bitte Sie daher, damit Andere, wenn sie Gelegenheit haben oder es wünschen, sich die Eigenschaften derselben zu Nutze machen, diese Bemerkungen in das Philosophical Magazine aufzunehmen. Der Nutzen der Guttapercha beruht auf der hohen Isolationsfähigkeit, die sie unter gewöhnlichen Umständen besitzt, und auf dem Vermögen, diese Eigenschaft auch unter solchen atmosphärischen Bedingungen zu bewahren, unter denen Glas auf der Oberfläche ein guter Leiter wird. Es ist jedoch nicht jede im Handel vorkommende Guttapercha gleich gut, aber es scheint nicht schwer zu sein, sie in den besten Zustand zu versetzen. Ich will die Eigenschaften einer geeigneten Sorte beschreiben und alsdann von den Verschiedenheiten sprechen. Ein Stück guter Guttapercha in Platten-, Stab- oder Fadenform isolirt ebenso gut als ein gleiches Stück Schellack, aber in manchen Fällen, wo die Sprödigkeit des letzteren störend ist, wird erstere bessere Dienste leisten, da sie in der Kälte ebenso zäh und biegsam als in der Wärme weich ist. Sie ist daher zu Handhaben von Probekörpern bei Inductionsversuchen geeignet, da sie nicht brüchig ist; in Form dünner Streifen oder Schnüre dient sie vortrefflich zu isolirenden Aufhängungen und in Form von Platten zu isolirenden Unterlagen. Sie bildet ausgezeichnete isolirende Stöpsel zur Führung der Stiele von Goldblattelektrometern in Schutzröhren, grössere Stücke dienen zu gut isolirenden Füssen bei gelegentlichen elektrischen Anordnungen. Cylinder aus dieser Substanz von einem halben Zoll oder grösserem Durchmesser besitzen grosse Festigkeit und bilden vortrefflich isolirende Säulen. In diesen und vielen anderen Fällen leistet ihr Isolationsvermögen gute Dienste.

Ihrer guten Isolation wegen ist diese Substanz auch ausgezeichnet zur Erregung negativer Elektricität. Es ist kaum möglich, eine Sohle, wie solche bei Schuhmachern käuflich sind, aus der papiernen Umhüllung heraus und in die Hand zu nehmen, ohne eine so starke Elektrisirung derselben zu er-

---

[1]) Philosophical Magazine, März 1848, XXXII, 165.

halten, dass sie die Goldblättchen eines Elektrometers einen Zoll oder mehr auseinandertreibt; und wenn sie hierbei unelektrisch bleibt, so genügt es, ganz sanft damit über die Hand, das Gesicht, die Kleider oder sonst einen Körper zu fahren, um sie zu elektrisiren. Manche Guttapercha ist in sehr dünnen Scheiben käuflich, deren Aussehen im Allgemeinen geöltem Seidenzeug gleicht. Zieht man einen Streifen derselben durch die Finger, so wird er so elektrisch, dass er an der Hand haftet oder Papierstücke anzieht. Hiernach ist es vielleicht zu empfehlen, eine dickere Scheibe aus dieser Substanz in Elektrisirmaschinen zur Erregung negativer Elektricität zu verwenden.

Zum Zwecke von Influenzwirkungen lässt sich die Substanz in Scheibenform sehr gut als Elektrophor oder, mit einer Metallbelegung versehen, als Ersatz für eine Leydener Flasche oder irgend einen anderen zu Influenzwirkungen dienenden Apparat verwenden.

Ich habe gesagt, dass nicht alle Guttapercha gleich gut elektrischen Zwecken entspricht. Was die nicht so guten Sorten betrifft (und sie bildeten ungefähr die Hälfte derselben, welche auf käuflichem Wege in meine Hände gelangt sind), so haben sie entweder ein Elektrometer entladen, wie es ein Stück Papier oder Holz gethan haben würde, oder bei Berührung bewirkt, dass die Blättchen um ein Beträchtliches zusammenfielen, die jedoch bei Entfernung der Guttapercha wieder weit divergirten. Diese Wirkung habe ich verfolgt und führe sie darauf zurück, dass in der Substanz eine leitende Masse enthalten ist, die von einer dünnen nichtleitenden äusseren Schicht umhüllt ist. Zerschneidet man ein gut isolirendes Stück, so bemerkt man an der Schnittfläche einen Harzglanz und eine sehr charakteristische Dichtheit, während ein leitendes Stück nicht denselben Glanz zeigt, weniger durchsichtig erscheint und mehr das Aussehen einer erstarrten trüben Flüssigkeit hat. Wie ich glaube, werden zur Zubereitung der in den Handel kommenden Guttapercha als Wärmequelle sowohl feuchte Dämpfe als auch Wasserbäder benutzt werden, und die Verschiedenheit der einzelnen Sorten ist wahrscheinlich hiervon und von dem darauf folgenden Process, sie zwischen heissen Cylindern auszuwalzen, bedingt. Wenn jedoch ein leitendes Stück in einem Strom heisser Luft erwärmt wird, etwa über einer Glasröhre, in welcher eine kleine Gasflamme brennt, und nun gestreckt, zusammengefaltet und einige Zeit zwischen den Fingern geknetet wird, wie um die Feuchtigkeit herauszupressen, so wird es ein so guter Isolator wie es die beste Sorte ist.

Ein gutes Stück, das ich eine Stunde lang in Wasser liegen liess, nach dem Herausnehmen abwischte und eine bis zwei Minuten der Luft aussetzte, isolirte so gut wie je. Ein anderes Stück, das vier Tage in Wasser gelegen hatte und dann abgewischt und getrocknet wurde, zeigte anfänglich ein geringeres Isolationsvermögen, aber nachdem es zwölf Stunden an der Luft gelegen hatte, isolirte es so gut wie je. Ich habe nicht finden können,

dass ein nicht isolirendes Stück besser wurde, nachdem es eine Woche lang in einem Luftbade erwärmt worden war; eine dünne äussere Schicht wurde zwar nichtleitend, als es aber in zwei Stücke zerschnitten wurde und die Schnittflächen mit dem Elektrometer und dem Finger in Berührung gebracht wurden, erwies sich das Innere leitend.

Wenn man gut oder schlecht isolirende Guttapercha (zu elektrischen Zwecken) allmählich auf eine Temperatur von etwa 350^0 bis 380^0 erwärmt, so giebt sie eine beträchtliche Menge Wasser aus; lässt man sie dann erkalten, so hat die zurückbleibende Substanz die allgemeinen Eigenschaften der Guttapercha und isolirt gut. Die ursprüngliche Substanz ist wahrscheinlich ein complicirtes Gemenge, und ich vermag nicht zu sagen, ob das Wasser darin als Hydratwasser existirt oder ob es das Product einer tiefer gehenden Umwandlung des einen oder anderen Bestandtheils des Gummi's ist. Alles was ich mit diesen Notizen bezwecke, ist, auf den Vorzug der Guttapercha zur Herstellung gelegentlicher oder dauernder elektrischer Apparate hinzuweisen, zum Nutzen der experimentell arbeitenden Physiker, mögen sie nun Anfänger oder Geübte sein.

Ich bin, lieber Philipps,

Royal Institution,
9. Febr. 1848.

Ihr

M. Faraday.

Beobachtungen über die magnetische Kraft.[1])

Da die allgemeinen Betrachtungen, die ich hier vorbringe, in Beziehung stehen zu den mächtigen Kräften der Erdkugel, welche sie als Ganzes sowohl als auch in ihren Theilen ausübt, nämlich zum Magnetismus und zur Gravitation, so ist es nothwendig, an gewisse Relationen und Verschiedenheiten beider, die ich bei früheren Gelegenheiten hervorgehoben habe, kurz wieder zu erinnern. Beide können in die Ferne wirken, und ohne Zweifel in jede beliebige Ferne; aber während die Gravitation, soviel wir sehen, sich einfach, nicht polar äussert, weist der Magnetismus Dualität und Polarität auf. Daher kann man nicht annehmen, dass *ein einzelnes* schweres Theilchen oder System eben vermöge der Schwere auf sich selbst wirke, während ein magnetisches Theilchen oder System, in Folge der dualen Natur seiner Kraft, sehr wohl eine solche Wirkung auf sich selbst haben kann. Ferner kann jede der beiden Polaritäten der magnetischen Kraft sowohl anziehend als auch abstossend wirken, ja noch mehr, auch die gesammte oder *duale* Wirkung eines Magnets kann eine anziehende oder abstossende sein, wie gegenüber paramagnetischen und diamagnetischen Körpern, während die Wirkung der Schwere stets eine anziehende ist. Ferner ergab sich als Folge der Verschiedenheit des Charakters dieser Kraft als nicht oder kaum zweifelhaft, dass bei dualen Kräften, wie Elektricität und Magnetismus, physische Kraftlinien existiren[2]), während hinsichtlich der Gravitation diese Schlussfolgerung nicht sicher erschien. Was die magnetischen Beziehungen der Sonne und der Erde betrifft, so ist es gut, sich mit Arago die relative Grösse beider gegenwärtig zu halten; denn denken wir uns den Mittelpunkt der Sonne mit dem der Erde zusammenfallen, so würde der Sonnenkörper sich nicht bloss bis zum Monde hin erstrecken, sondern nahezu doppelt so weit, da ihr Volumen ungefähr siebenmal so gross ist als das einer Kugel, die von der Mondbahn umgrenzt wäre.

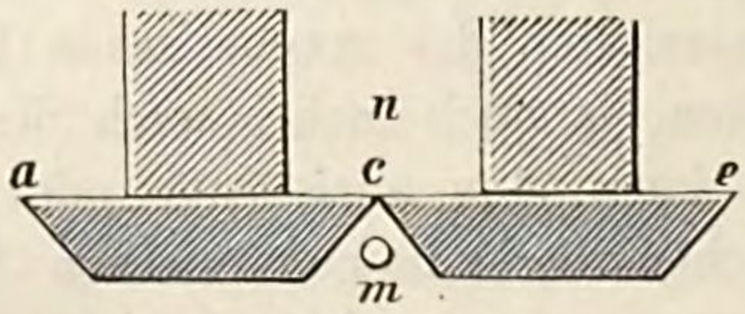
Zum sorgfältigeren Studium der magnetischen Kraft wurde eine Torsionswaage eigener Art construirt. Der Torsionsdraht bestand aus hart-

---

[1]) Proceedings of the Royal Institution, 21. Jan. 1853.

[2]) Ibid. 11. Juni 1852, p. 216 (S. oben p. 401); auch Phil. Mag., Ser. 4, 1852, III, p. 401 (S. oben p. 371).

gezogenem Platin von 24 Zoll Länge und solcher Dünne, dass 28,5 Zoll ein Gran Gewicht hatten; er hing wie gewöhnlich an einem Torsionsknopf mit Zeiger. Der horizontale Balken bestand aus einer dünnen Glasröhre, die an dem zur Aufnahme der Objecte bestimmten Ende zu einem Haken gebogen war. Die Körper, welche der magnetischen Kraft ausgesetzt werden sollten, waren entweder Glascylinder, die behufs Aufhängung an den Balken zu einem langen hakenförmigen Faden ausgezogen waren, oder cylindrische Glaskölbchen von gleicher Gestalt, aber grösser, die aus Glasröhren hergestellt waren, oder andere Substanzen. Die Kölbchen waren an den feinen röhrenförmigen Enden offen und konnten somit mit einer Flüssigkeit oder einem Gase gefüllt, versiegelt und mehrmals nach einander der magnetischen Kraft unterworfen werden. Als Kraftquelle diente anfangs ein grosser Elektromagnet, später aber, um der Constanz der Kraft sicher zu sein und um die Beobachtungen beliebig lange fortsetzen zu können, der von Logeman nach den Vorschriften von Elias angefertigte und von der Royal Institution erworbene grosse Stahlmagnet (der bei einem Eigengewicht von 100 Pfund, dem Bericht der Great Exhibition Jury zufolge, eine Tragkraft von 430 Pfund besitzt). Der Magnet wurde so aufgestellt, dass die Kraftaxe 5 Zoll unter dem Niveau des Glasbalkens lag; durch den Zwischenraum ging der oben erwähnte Aufhängungsfaden oder Haken. Die Gestalt und Lage der Ansatzstücke aus weichem Eisen zeigt die Figur in $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse, ebenso auch den Ort des Versuchsobjectes. Dieser ganze



Theil ist in dem Gehäuse der Torsionswaage eingeschlossen, welches von sechs Schrauben, die auf dem Tisch, auf dem der Magnet ruht, befestigt sind, regiert werden. Da das Gehäuse und der Tisch mit Theilungen versehen sind, so ist es leicht, ersteres auf letzterem so einzustellen, dass der Balken über und parallel der Linie *a e* liegt und der Aufhängungspunkt über *c*, den man jedoch auch durch Verschiebung des Gehäuses parallel mit sich selbst nach *m* hin in jeden beliebigen Abstand von dem Winkel *c* bringen konnte. Wie bereits gesagt, waren die Objecte mit einem so langen Aufhängungsfaden versehen, dass sie in gleiches Niveau mit dem Winkel im magnetischen Felde gebracht werden konnten. An dem Balken hängend waren sie durch einen oder mehrere Bleiringe an dem anderen Arm des Balkens äquilibrirt. Die Ringe wurden, wenn nothwendig, so lange auf dem Balken verschoben, bis dieser horizontal war, wovon man sich durch einen doppelarmigen Träger überzeugte, der den Balken hielt, wenn er ausser Gebrauch war, ihn hemmte, wenn er sich bewegte, und nach

Bedarf losliess. Die Verschiebung des Gehäuses nach rechts und links, um das Versuchsobject in die Mitte des Magnetwinkels zu bringen, wurde durch zwei der oben erwähnten Schrauben bewirkt, die Verschiebung in den gewünschten Abstand von *c* durch die anderen vier.

Wenn nun der Abstand zwischen *c* und *m* beispielsweise 0,6 Zoll betrug, während der Balken (der natürlich in seine normale Lage gebracht war, so dass der Torsionszeiger auf Null stand) zwar belastet, aber ohne Versuchsobject vor dem Magnet schwebte, so war, nachdem ein Versuchsobject an den Balken angehängt und er abgestossen worden war, die Rückkehr desselben in seine ursprüngliche Lage zu beobachten, was auf folgende Weise geschah. Unter dem Aufhängungspunkt nahe der Mitte des Balkens war ein kleiner ebener Spiegel befestigt, und ein kleines Fernrohr mit Scala 6 Fuss von dem Spiegel entfernt so aufgestellt, dass, wenn der Balken sich an der richtigen Stelle befand, ein bestimmter Theilstrich der Scala mit dem feinen Draht im Fernrohr zusammenfiel. Wenn der Balken sich bewegte, so schien natürlich die Scala von dem Draht fortzugehen und zwar wegen der Reflexion mit der doppelten Winkelgeschwindigkeit des Balkens. Da es auf diese Weise leicht war $^1/_{50}$, ja sogar $^1/_{100}$ Zoll abzulesen und bei dem Radius von 6 Fuss jeder Grad scheinbar 2,4 Zoll einnahm, so konnte man eine Winkeldrehung oder eine Differenz von $^1/_{240}$ Grad beobachten. Eine solche Grösse würde, da der das Versuchsobject tragende Arm des Balkens 6 Zoll lang war, weniger als $^1/_{2000}$ Zoll ausmachen, d. h. bis zu diesem Betrage konnte die vermöge der Torsionskraft, die der Abstossung entgegenwirkte, erfolgende Rückkehr des Balkens ermittelt werden. Wenn der Balken einen diamagnetischen Körper trug und daher abgestossen wurde, so konnte der vor dem Fernrohr sitzende Beobachter mittelst einer langen Handhabe mit Rad und Getriebe die Torsion bewirken, bis der Balken wieder seine ursprüngliche Lage einnahm, und der dann an der Theilung abgelesene Betrag der Torsion gab in Graden ein Maass für die Abstossungskraft. Bei den endgültigen Beobachtungen waren Magnet, Waage und Fernrohr in einem fundamentirten Raume auf einem steinernen Fussboden fest aufgestellt. Die vielen sonstigen Vorsichtsmassregeln, die erforderlich waren, wie hinsichtlich der Dauer einer Beobachtung, des Einflusses einer starken Torsion auf den Aufhängungsfaden, gegen eine etwaige Elektrisirung des Versuchsgegenstandes oder Balkens durch Berührung, gegen den Einfluss schwacher Luftströmungen innerhalb des Gehäuses, gegen die Gestalt des Versuchsobjects, gegen Capillarwirkungen, wenn Flüssigkeiten als Media angewandt wurden, oder gegen andere Einflüsse hier zu beschreiben, wäre überflüssig; dasselbe gilt von dem Gebrauch gewisser Arretirungen und dem Verfahren, das bei paramagnetischen Wirkungen in Anwendung kam, da es sich hier nur um eine durchsichtige Darstellung der Wirkungsprincipien handelt.

Wenn man einen Körper der Kraft eines Magnets aussetzt, so wird er nicht bloss von dem Magnet, sondern auch von dem umgebenden Medium

afficirt, und selbst wenn man das Medium gegen ein Vacuum vertauscht, so stehen Vacuum und Körper doch in einer ähnlichen Relation zu einander. Die resultirende Wirkung ist thatsächlich immer eine differentiale; jede Veränderung des Mediums ändert die Wirkung auf das Object. So giebt es viele Körper, die, von Luft umgeben, von dem Magnet abgestossen und in Wasser von ihm angezogen werden. Als ein kleiner Glascylinder, der nur 66 Gran wog, an der Torsionswaage in Luft bei einem Abstande von 0,5 Zoll von der axialen Linie dem Logeman'schen Magnet ausgesetzt wurde, war zur Ueberwältigung der Abstossungskraft und Zurückführung des Cylinders in seine ursprüngliche Lage eine Torsion von 15^0 erforderlich. Als aber ein Gefäss mit Wasser in das magnetische Feld gebracht und der Cylinder hineingehängt wurde, wurde dieser angezogen, und bei dem Abstande von 0,5 Zoll war zur Ueberwindung dieser Anziehung eine Torsion von $54^0{,}5$ erforderlich. Hätte sich in dem Gefässe eine Flüssigkeit befunden, deren Diamagnetismus von genau gleicher Stärke gewesen wäre wie die des Glascylinders, so würde dieser weder Anziehung noch Abstossung erlitten haben, also die Torsion 0^0 gewesen sein. Die durch den Versuch gefundenen Zahlen, 15^0, 0^0 und $54^0{,}5$ geben also ein relatives Maass der Kräfte der drei Körper, Luft, Glas (von der bestimmten Sorte) und Wasser. Ebenso würde der Torsionswinkel, den man erhalten würde, wenn *derselbe Glascylinder* von anderen Medien, wie Oel, Aether etc. umgeben wäre, die Stelle derselben in der magnetischen Reihe bestimmen. Es ist das hydrostatische oder archimedische Princip, angewandt auf magnetische Kräfte. Wendet man einen anderen Cylinder von anderer Grösse oder anderer Substanz und bei einem anderen Abstande an, so werden auch die Torsionszahlen, ebenso wie der (vom Cylinder angegebene) Nullpunkt, andere sein, aber die Media selbst werden (mit einer später zu erwähnenden Ausnahme) doch dieselbe Relation zu einander zeigen. Um alle experimentellen Resultate mit einander vergleichen zu können, wurde eine durch Luft und Wasser bei gewöhnlicher Temperatur oder 60^0 F. begrenzte hunderttheilige Scala angenommen. Zu diesem Ende schloss jede Reihe von Resultaten, die unter genau denselben Umständen erhalten wurde, Luft und Wasser ein, und dann wurden alle Ergebnisse einer Reihe mit einer solchen Zahl multiplicirt, dass der Unterschied zwischen Luft und Wasser in 100 überging; demnach wurden die drei obigen Zahlen $21^0{,}6$, 0^0 und $78^0{,}4$. Auf diese Weise erhält man die magnetischen Intervalle zwischen den Körpern nach der hunderttheiligen Scala, aber der wahre Nullpunkt ist nocht nicht bestimmt. Die Intervalle sind nicht davon abhängig, ob man Wasser oder Luft oder Glas zum Nullpunkt nimmt, sondern es ändern sich hierdurch nur die Zahlenausdrücke folgendermassen:

	^{0}	^{0}	^{0}
Luft . . .	0	21,6	100
Glas . . .	21,6	0	78,4
Wasser . .	100	78,4	0

Alle Körper über dem am Nullpunkt stehenden sind in Bezug auf ihn paramagnetisch, alle unter ihm diamagnetisch. In der später mitzutheilenden Tabelle, welche die Resultate enthält, habe ich das Vacuum als Nullpunkt angenommen.

Hiernach ist klar, dass man auf diese Weise für jeden starren Körper, von welcher Grösse, Gestalt oder Beschaffenheit er sein mag, seine Stelle in der Reihe erhalten kann, wenn man ihn der Wirkung eines Magnets in Luft und Wasser oder in anderen Flüssigkeiten, deren Stellung zu diesen schon ermittelt ist, aussetzt. Dasselbe gilt für jede Flüssigkeit, wenn man *einen und denselben* starren Körper darin sowie in Luft und Wasser eintaucht. Ebenso lassen sich Gase und Flüssigkeiten mit einander vergleichen und in die Reihe einordnen, wenn man ein und dasselbe Gefäss, beispielsweise denselben Glaskolben, nacheinander mit ihnen und stets in jeder Versuchsreihe auch mit Luft und Wasser füllt. Die folgende Tabelle enthält einige nach der hunderttheiligen Scala bestimmte Substanzen. Die Resultate können zwar, da noch einige Punkte hinsichtlich der Theorie und Anwendung der beschriebenen Torsionswaage auszumitteln sind, nur als eine Annäherung angesehen werden, aber dennoch giebt das Mittel aus drei oder vier sorgfältigen, unter denselben Bedingungen, bei gleichem Abstand, gleicher Magnetkraft u. s. w., angestellten Versuchen den Ort einer Substanz bis nahezu auf einen Grad und oft noch genauer an. Die Kräfte beziehen sich auf einen Abstand von 0,6 Zoll von der magnetischen Axe des beschriebenen Magnets und natürlich auf *gleiche Volume* der genannten Körper. Die letzten Decimalstellen sind das Resultat der Rechnung, dürfen also nicht als genau den Versuchen entsprechend angesehen werden. Wasserstoff, Stickstoff und vielleicht einige andere dem Nullpunkt nahe stehende Körper erweisen sich am Ende einst als dem Vacuum gleich; offenbar würde schon ein sehr geringer Sauerstoffgehalt Unterschiede, wie er sich beim Stickstoff zeigt, hervorrufen. Die an erster Stelle genannte Kupferlösung war farblos, und die zweite war durch Oxydation, durch blosses Schütteln in einem Luft enthaltenden Kolben aus der ersten erhalten worden; der Gehalt an Kupfer, Ammoniak und Wasser war in beiden gleich.

	°		°
Kupferoxydulammonium .	134,23	Campher	82,59
Kupferoxydammonium . .	119,83	Camphin	82,96
Sauerstoff	17,5	Leinöl	85,56
Luft	3,4	Olivenöl	85,6
Oelbildendes Gas . . .	0,6	Wachs	86,73
Stickstoff	0,3	Salpetersäure	87,96
Vacuum	0,0	Wasser	96,6
Kohlensäure	0,0	Ammoniakflüssigkeit . .	98,5
Wasserstoff	0,1	Schwefelkohlenstoff . . .	99,64
Ammoniakgas	0,5	Salpeterlösung, gesättigt .	100,08

Cyan	0,9	Schwefelsäure	104,47
Ein Glas	18,2	Schwefel	118
Reines Zink	74,6	Arsenchlorid	121,73
Aether	75,3	Geschmolzenes borsaures Blei	136,6
Absoluter Alkohol	78,7	Phosphor	
Citronenöl	80	Wismuth	1967,6

Plücker hat sich in seiner so werthvollen Arbeit[1]) mit Körpern, die zu den stark paramagnetischen gehören, beschäftigt und ihre Kraft für gleiche Gewichte bestimmt.

Ein Hauptzweck bei der Construction eines so empfindlichen Instruments wie das beschriebene war die Untersuchung gewisser Punkte in der Theorie des Magnetismus, und darunter insbesondere die über die richtige Anwendung des Gesetzes vom umgekehrten Quadrat der Entfernung, als des allgemeinen Gesetzes der magnetischen Wirkung. Von der gewöhnlichen magnetischen Wirkung kann man zweierlei Art unterscheiden: die zwischen permanenten und unveränderlichen Magneten und die zwischen Körpern, von denen der eine ein permanenter und unveränderlicher Magnet ist, und der andere für sich keinen Magnetismus besitzt, sondern ihn erst empfängt und behält, wenn und so lange er dem Einfluss des ersteren ausgesetzt ist. Die erstere Wirkungsart scheint in den strengsten und reinsten Fällen jenem Gesetze zu unterliegen; dagegen wäre es übereilt, von vornherein und ohne vollkommen ausreichenden Beweis dasselbe Gesetz auch für die zweite Reihe von Vorgängen als gültig anzusehen; denn eine voreilige Annahme könnte in Wahrheit mit der Natur in Widerspruch stehen und eine vorgefasste Behauptung dem Fortschritt der Wissenschaft hinderlich sein. Wir wissen nicht, ob Körper wie Sauerstoff, Kupfer, Wasser, Wismuth u. s. w. ihren Paramagnetismus respective Diamagnetismus einer grösseren oder geringeren Leitungsfähigkeit für die magnetischen Kraftlinien oder einer Art von Polarität ihrer Theilchen oder Massen oder einem anderen noch unbekannten Zustande verdanken, und wir können wenig Hoffnung haben, den wahren Zustand und somit die Ursache der magnetischen Wirkung zu ermitteln, wenn wir ohne Weiteres, also ohne Beweis das Wirkungsgesetz annehmen und Versuche, die schon darauf hindeuten, verwerfen; denn Plücker hat die bestimmte Thatsache festgestellt, dass bei Verstärkung des wirkenden Magnets die diamagnetische Kraft rascher wächst als die magnetische, und diese Thatsache widerspricht dem genannten Gesetze. Folgende Resultate beziehen sich auf denselben Punkt.

Wenn man einen Körper in Luft und in Wasser dem grossen unveränderlichen Logeman'schen Magnet aussetzt und die Resultate auf die hunderttheilige Scala reducirt, so bleibt die Relation der

---

[1]) Taylor's Scientific Memoirs, vol. V, pp. 713, 730.

drei Substanzen dieselbe für gleiche, aber nicht für *verschiedene* Abstände. So zeigte sich ein bestimmter Cylinder von Flintglas in Luft und in Wasser dem Magnet in einem Abstande von 0,3 Zoll in der beschriebenen Weise ausgesetzt, gegen beide Substanzen diamagnetisch; die Zurückführung der Resultate auf die hunderttheilige Scala, Wasser zum Nullpunkt genommen, ergab, dass er $9^0,1$ tiefer oder auf der diamagnetischen Seite des Wassers stand. Bei einem Abstande von 0,4 Zoll war er $10^0,6$ und bei einem Abstande von 0,7 Zoll $12^0,1$ tiefer als Wasser. Ein stärker diamagnetischer Körper, wie schweres Glas, ergab dasselbe Resultat in noch höherem Maasse; denn bei einem Abstande von 0,3 Zoll stand er $37^0,8$ und bei einem Abstande von 0,8 Zoll $48^0,6$ tiefer als Wasser. Wismuth lieferte ein noch auffallenderes Beispiel, wiewohl, da sein Volumen nothwendig klein war, die Zahlen nicht denselben Grad von Genauigkeit beanspruchen können. Die Resultate für die drei Substanzen sind unten angegeben, wobei Luft immer gleich 100^0 und Wasser gleich 0^0 gesetzt ist. Die erste verticale Zahlenreihe giebt für jede Substanz den Abstand[1]) von der axialen Linie des magnetischen Feldes in Zehntelzollen an, die zweite den Ort unter Wasser in der hunderttheiligen magnetischen Scala.

Flintglas		Schweres Glas		Wismuth	
	^{0}		^{0}		^{0}
0,3	9,1	0,3	37,8	0,6	1871
0,4	10,6	0,4	38,6	1,0	2734
0,5	11,1	0,6	40,0	1,5	3626
0,6	11,2	0,8	48,6		
0,7	12,1	1,0	51,5		
		1,2	65,6		

Hieraus geht hervor, dass ein diamagnetischer Körper um so stärker diamagnetisch gegen Wasser ist, je grösser sein Abstand von dem Magnet ist, das Intervall zwischen Wasser und Luft zur Norm genommen; und wenn man aus so wenigen Versuchen einen Schluss ziehen darf, so würde weiter folgen, dass, je stärker diamagnetisch ein Körper im Vergleich zu Luft und Wasser ist, desto grösser diese Differenz werden würde. Anfänglich glaubte ich, dass die Resultate möglicherweise davon herrühren, dass der Körper

---

[1]) Eine bestimmte Aenderung des Abstandes schliesst nothwendig eine Aenderung der Stärke der Kraft und eine Aenderung der Gestalt der Kraftlinien ein, aber der Betrag der Aenderung ist nicht immer derselbe. Bei demselben Abstande von 0,4 Zoll in entgegengesetzten Richtungen von der axialen Linie gegen m und n der Fig. p. 458 oder bei einem anderen mässigen Abstande sind die Kräfte nicht dieselben, und wenn auch bei Vergrösserung und Verringerung des Abstandes die Aenderung in derselben Richtung erfolgt, so doch nicht in gleichem Verhältniss. Mittelst zweckmässig eingerichteter Anker kann man bewirken, dass die Kraft sich in der einen Richtung mit ausserordentlicher Schnelligkeit und in der anderen mit äusserster Langsamkeit oder gar nicht ändert.

zuvor, indem er dem Magnet näher oder ferner war, in einen besonderen Zustand versetzt worden sei; allein es zeigte sich, dass die Resultate dieselben blieben, ob man von kleinen Abständen zu grösseren überging, oder umgekehrt, oder ob bei gegebenem Abstande das Versuchsobject vor der Messung dicht an den Magnet gehalten oder aus einer Entfernung herangebracht wurde. Auf keine Weise liess sich so ein Anzeichen eines temporär inducirten Zustandes auffinden.

Aus den Versuchen, falls künftige Forschungen sie bestätigen sollten, folgt nicht, dass nur das Glas oder Wismuth seine Relation zu den beiden anderen Körpern ändere. Möglicherweise ändert sich der Sauerstoff der Luft oder das Wasser oder, was wahrscheinlicher ist, es ändern sich alle diese Körper; denn wenn das Resultat in diesen Fällen der Wahrheit und der Natur entspricht, so ist es wahrscheinlich allen Substanzen gemeinsam. Die Hauptsache ist, dass die drei in Betracht kommenden Körper, Luft, Wasser und das Versuchsobject, den Grad ihrer magnetischen Relationen *zu einander* ändern, bei verschiedenen Abständen von dem Magnet das Verhältniss ihrer magnetischen Kraft, den Versuchen zufolge, nicht dasselbe bleibt; und wenn dieses Ergebniss sich bestätigt, so kann es nicht unter das Gesetz des umgekehrten Quadrates der Entfernung fallen. Ein in einer Flüssigkeit schwimmendes und nur der Schwerkraft der Erde ausgesetztes Hydrometer würde (unter sonst gleichen Umständen) seinen Stand nicht ändern, ob es sich an der Oberfläche der Erde oder um viele Erddurchmesser entfernt von ihr befände, da die Wirkung der Schwerkraft sich umgekehrt verhält wie das Quadrat der Entfernung; gesetzt aber, die Substanz des Hydrometers und die Flüssigkeit seien in magnetischer Hinsicht verschieden, wie beispielsweise Wasser und Wismuth, und die Erde wirke nicht durch ihre Schwere, sondern als Magnet, so würde das Hydrometer, den Versuchen zufolge, bei verschiedenen Entfernungen von der Erde einen verschiedenen Stand haben und daher nicht jenem Gesetze unterworfen sein können.

Noch ist die Ursache dieser Aenderung des gegenseitigen Verhältnisses der Substanzen, falls diese sich endgültig bestätigt, aufzusuchen. Sie kann einigermassen von der in verschiedenen Abständen verschiedenen *Gestalt* der Kraftlinien abhängen, oder nicht von der Gestalt der Linien, sondern von dem *Betrage* der Kraft in verschiedenen Abständen, oder nicht von dem Betrage allein, sondern von dem Umstande, dass in jedem Falle der dem Versuch unterworfene Körper in seinen verschiedenen Theilen von Linien *verschiedener Kraftintensität* durchsetzt wird (denn bei aller Verschiedenheit des magnetischen oder diamagnetischen Zustandes eines Körpers und der ihn umgebenden Flüssigkeit würden sie sich in einem gleichförmigen Felde nicht relativ zu einander bewegen); was aber auch die Ursache sein möge, so wird sie eine Begleiterin magnetischer Wirkungen sein und daher

muss sie in die Ergebnisse jedes Gesetzes, von dem man vermuthet, dass es diese Wirkungen beherrscht, einbegriffen sein.

Es ist noch nicht hervorgehoben worden, dass diese allgemeinen Resultate in directem Widerspruche zu stehen scheinen mit denen Plücker's, wonach der Diamagnetismus mit der Verstärkung der Magnetkraft rascher wächst als der Magnetismus. Allein wenn unsere beiderseitigen Schlüsse mit der Erfahrung übereinstimmen, so zeigt dies nur, dass wir über die physische Natur dieser Kraft noch gar viel zu lernen haben, und wir dürfen unser Auge vor dem ersten schwachen Aufleuchten dieser Dinge nicht deshalb verschliessen, weil sie nach beiden Seiten nicht mit den von uns angenommenen Wirkungsgesetzen übereinstimmen, sondern sie vielmehr ergreifen in der Hoffnung, dass sie uns den Schlüssel zur Wahrheit der Natur liefern werden. Körper, die der Wirkung eines Magnets ausgesetzt werden, scheinen einen neuen physikalischen Zustand anzunehmen, welcher sich mit dem Abstande oder der Stärke des Magnets ändert. Für jeden Körper mag es ein eigenes Verhältniss von Zu- und Abnahme geben derart, dass der extreme Fall, den Plücker unter den paramagnetischen Körpern einerseits beobachtet hat, mit den hier beschriebenen extremen Fällen unter den diamagnetischen Körpern andererseits zusammenhängt, und wenn wir alles dieses recht verstehen, so werden wir den scheinbaren Widerspruch sich in Harmonie verwandeln sehen, obwohl es nicht im Einklang stehen mag mit dem Gesetz vom umgekehrten Quadrat der Entfernung, wie wir es nun anzuwenden suchen.

Plücker hat auf Grund seiner Beobachtungen über die paramagnetische und diamagnetische Kraft bereits die Meinung ausgesprochen, dass sich keine genaue Reihe für die magnetischen Substanzen aufstellen lasse. Dieselbe Folgerung, obschon in einer anderen Richtung, ergiebt sich aus den vorliegenden Angaben, und daher machte ich den Vorbehalt (p. 461). Doch habe ich die Tabelle als Annäherung mitgetheilt und sie mag einstweilen nützlich sein. Ehe ich diesen ersten Bericht über neue Experimentaluntersuchungen verlasse, mag es gut sein zu bemerken, dass ich ihre Unvollkommenheit fühle und dass sie möglicherweise umgestossen werden würden; da jedoch ein solches Resultat nicht gerade vorauszusehen ist, so hielt ich es für gut, sie den Mitgliedern der Royal Institution und der wissenschaftlichen Welt zu unterbreiten, denn wenn sie die Kritik und experimentelle Prüfung anregen sollten, so würden sie die physikalische Wissenschaft fördern.

Bei einer früheren Gelegenheit[1]) habe ich die Existenz *physischer* Kraftlinien des Magnetismus und der Elektricität aus der dualen Natur dieser Agentien und aus der in allen Fällen und zu allen Zeiten nothwendigen Beziehung und Abhängigkeit zwischen den Polaritäten des Magnets und den positiv und negativ elektrisirten Oberflächen abgeleitet. In Betreff

---

[1]) Siehe p. 438.

der Schwere äusserte ich mich unschlüssiger, da es schwierig ist, Thatsachen zu beobachten, die eine Beziehung zur *Zeit* haben, und da zwei gravitirende Theilchen oder Massen, was das Dasein oder die Erregung ihrer gegenseitigen Kraft betrifft, in keiner nothwendigen Abhängigkeit von einander zu stehen scheinen.[1]) Ich möchte nun eine inzwischen in Newton's Werken aufgefundene Stelle anführen, welche zeigt, dass er das Dasein physischer Schwerkraftslinien unbedenklich annahm, und wonach er denen angereiht werden muss, die die physische Natur der magnetischen und elektrischen Kraftlinien behaupten. Die Stelle findet sich in einem Briefe an Bentley und lautet[2]): „Dass die Schwerkraft der Materie eingeboren, immanent und wesentlich sei, so dass ein Körper auf einen anderen in die Ferne durch ein *Vacuum* wirken könne, ohne Dazwischenkunft von irgend Etwas, wodurch ihre Wirkung und Kraft auf einander übertragen werde, erscheint mir als eine so grosse Ungereimtheit, dass ich nicht glaube, dass Jemand, der philosophisch zu denken vermag, auf dieselbe verfallen könne. Die Schwerkraft muss ein beständig nach gewissen Gesetzen wirkendes Agens zur Ursache haben; ob dieses Agens jedoch materiell oder immateriell sei, habe ich dem Urtheil meiner Leser überlassen."

---

[1]) Philosophical Magazine, Ser. 4, 1852, vol. III, p. 403 (siehe ob. Art. 3246)

[2]) Newton's Works, Horsley's edition, 4°, 1783, vol. IV, p. 438, oder dritter Brief an Bentley.

Ueber elektrische Induction. — Fälle von gleichzeitigen Strömungs- und Ladungs-Wirkungen.[1])

Im Laufe der ausserordentlich umfangreichen Anlagen der Electric Telegraph Company haben sich gewisse Erscheinungen gezeigt, die mir einige Grundprincipien der Elektricitätslehre in bemerkenswerther Weise zu veranschaulichen und für die Richtigkeit der vor sechzehn Jahren von mir aufgestellten Ansicht über die gegenseitige Abhängigkeit der Induction, Leitung und Isolation (Experim. Untersuch. 1318 etc.) eine nachdrückliche Bestätigung zu liefern scheinen. Für die Thatsachen, sowie für die Gelegenheit, sie zu sehen und zu zeigen, bin ich der genannten Gesellschaft, den Guttapercha-Werken und Latimer Clark zu grossem Danke verpflichtet.

Der Kupferdraht, den die Gesellschaft bei ihren Anlagen verwendet, ist regelmässig und concentrisch mit Guttapercha vollkommen überzogen. Der überzogene Draht wird gewöhnlich in Längen von einer halben Meile hergestellt, die durch Zusammendrehen oder Verknüpfung und nachheriges Löthen mit einander verbunden werden; die Löthstelle wird alsdann ebenso vollkommen wie alle übrigen Theile mit Guttapercha überzogen. Ob sich alles wirklich im vollkommenen Zustande befindet, wird von Statham, dem Leiter der Werkstätten, auf folgende sehr merkwürdige Weise geprüft. An den Seiten von Böten, die auf einem Canal schwimmen, werden die Drähte von einer halben Meile Länge so aufgehängt, dass sie, mit Ausnahme der beiden in die Luft ragenden Enden, in Wasser tauchen. So werden etwa 200 Drähte auf einmal in Wasser getaucht und so mit einander verbunden, dass sie einen einzigen untergetauchten Draht von 100 Meilen Länge bilden, dessen Enden in den Beobachtungsraum geführt werden können. Eine isolirte Volta'sche Batterie von vielen Zink-Kupfer-Paaren in verdünnter Schwefelsäure ist mit einem Ende an Erde gelegt und mit dem anderen durch ein Galvanometer mit einem Ende des untergetauchten Drahtes verbunden. Abgesehen von dem Effect unmittelbar nach der Schliessung und bei Fortdauer des Contactes kann der Batteriestrom offenbar den gesammten Leitungsweg oder eine mangelhafte Isolation in dem Guttapercha-Ueberzug des 100

---

[1]) Proceedings of the Royal Institution, 20. Jan. 1854.

Meilen langen Drahtes benutzen, und das Galvanometer wird jeden in das Wasser entweichenden Bruchtheil der Elektricität anzeigen. Die Batterie ist, um das Gewicht der Prüfung zu erhöhen, auf Spannung geschaltet, und das Galvanometer von erheblicher Empfindlichkeit; doch ist die Isolation so gut, dass die Ablenkung nur 5^0 beträgt. Einen anderen Beweis dafür, dass der Draht vollkommen im Stande ist, erhält man, wenn beide Enden der Batterie mit den beiden Enden des Drahtes verbunden werden; ein viel roheres Instrument zeigt dann einen kräftigen elektrischen Strom an; wenn jedoch eine Verbindung in dem 100 Meilen langen Drahte gelöst ist, hört der Strom auf, und der Isolationsmangel wird so klein wie vorher. Aus diesen Beobachtungen lässt sich die Vollkommenheit und sonstige Beschaffenheit des Drahtes beurtheilen.

Der 100 Meilen lange Draht, an dem ich die Erscheinungen sah, war demnach gut isolirt. Der blanke Kupferdraht hatte $^1/_{16}$ Zoll Durchmesser, der überzogene $^4/_{16}$, zum Theil nur $^7/_{32}$; der Guttapercha-Ueberzug war demnach etwa 0,1 Zoll dick. Ebenso überzogene Drähte in Windungen von 100 Meilen Länge wurden auf den Flur eines trockenen Speichers gelegt und zur Vergleichung mit dem unter Wasser getauchten hintereinander verbunden.

Nun denke man sich eine isolirte Batterie von 360 Plattenpaaren (4 × 3 Zoll) mit einem Ende an Erde gelegt; den in Wasser untergetauchten Draht mit seinen beiden isolirten Enden im Beobachtungsraum und einen geeigneten Draht als Ableiter, zur Herstellung einer etwa erforderlichen Verbindung mit der Erde. Als nun das freie Ende der Batterie mit dem im Wasser liegenden Draht in Berührung gebracht und darauf entfernt wurde, und nun eine Person, die den Ableiter berührte, zugleich den Draht berührte, so bekam sie einen kräftigen Schlag. Der Schlag glich eher dem einer Volta'schen als dem einer Leydener Batterie; er brauchte *Zeit* und konnte durch schnelle tastende Berührungen in viele kleine Schläge zerlegt werden; ich erhielt nicht weniger als vierzig merkliche Schläge von einer einzigen Ladung des Drahtes. Wenn man zwischen der Ladung und Entladung des Drahtes *Zeit* verstreichen liess, so war der Schlag schwächer, aber er war noch nach 2, 3, 4 Minuten und selbst noch nach längerer Zeit fühlbar.

Als der Draht, nachdem er mit der Batterie in Berührung gewesen war, an eine Statham'sche Lunte gelegt wurde, entzündete er dieselbe (ja sechs solche Lunten nach einander) lebhaft; selbst 3 bis 4 Secunden nach der Trennung von der Batterie vermochte er die Lunte zu entzünden. Wurde er, nachdem er mit der Batterie in Berührung gewesen war, mit einem Galvanometer verbunden, so wirkte er auf dasselbe kräftig ein; er that es, wiewohl in schwächerem Maasse, selbst dann noch, wenn seit seiner Trennung von der Batterie 4 bis 5 Minuten verstrichen waren, ja sogar nach 20 bis 30 Minuten gab er noch eine merkliche Wirkung. Wenn das

Ende des im Wasser liegenden Drahtes mit dem einen Ende des isolirten Galvanometers dauernd verbunden war, und der Pol der Batterie mit dem freien Ende desselben verbunden wurde, so war es sehr instructiv zu sehen, wie mächtig die Elektricität in den Draht hineinschoss; allein nachdem dies vorüber war, betrug auch bei Fortdauer des Contactes die Ablenkung nicht mehr als 5^0; so gut war die Isolation. Trennte man die Batterie vom Galvanometer und berührte letzteres mit dem Ableitungsdraht, so war es ebenso überraschend zu sehen, wie die Elektricität aus dem Draht herausschoss, indem sie die Galvanometernadel eine Zeit lang in entgegengesetzter Richtung wie bei dem Eintritt oder der Ladung ablenkte.

Diese Erscheinungen zeigten sich mit jedem Pole der Batterie und mit jedem Ende des Drahtes gleich gut; auch machte es keinen Unterschied, ob die Elektricität an demselben oder an den entgegengesetzten Enden des 100 Meilen langen Drahtes ein- und austrat. Aus Gründen, die sich weiterhin deutlich ergeben werden, musste die Batterie auf Spannung geschaltet werden. Die angewandte vermochte in einer gegebenen Zeit nur eine sehr geringe Menge Wasser zu zersetzen. Eine Grove'sche Batterie von acht bis zehn Plattenpaaren, welche erstere in dieser Beziehung weit übertroffen haben würde, hätte auf den Draht kaum eine merkliche Wirkung geübt.

Der an der Luft liegende 100 Meilen lange Draht zeigte unter denselben Umständen nicht die geringsten Spuren von diesen Erscheinungen. Der Theorie nach ist Grund anzunehmen, dass eine äusserst schwache Wirkung erzielt werden könne, aber verglichen mit dem im Wasser liegenden Draht war sie Null. Dennoch war der Draht ebenso gut, ja besser isolirt und leitete einen constanten Strom ebenso gut. Dies wurde folgendermassen festgestellt: Ein Ende des im Wasser liegenden Drahtes wurde mit einem Galvanometer und ein Ende des an der Luft befindlichen Drahtes mit einem zweiten gleichen Galvanometer, die beiden anderen Enden unter sich und mit dem Ableitungsdraht, und die beiden freien Galvanometerenden unter sich und mit dem freien Pol der Batterie verbunden. Der Strom verzweigte sich so in den im Wasser und in den an der Luft liegenden Draht, aber die Galvanometer wurden genau gleich stark abgelenkt. Um des Resultates noch sicherer zu sein, wurden die Galvanometer mit einander vertauscht, aber auch jetzt blieben die Ablenkungen einander gleich; beide Drähte leiteten also gleich gut.

Die Ursache der ersten Erscheinungen ergiebt sich bei einigem Nachdenken klar genug. Vermöge der Vollkommenheit der Ausführung bildet der Kupferdraht mit seinem Ueberzuge eine Leydener Flasche im grossen Maassstabe; ersterer wird durch die von der Batterie, mit deren einem Pole er verbunden ist, gelieferte Elektricität[1]) statisch geladen, die indu-

---

[1]) Davy, Elements of Chemical Philosophy, p. 154.

cirend durch die Guttapercha wirkt (ohne diese Induction würde er selbst nicht geladen werden können, Experim. Untersuch. 1177) und auf der die Guttapercha berührenden Wasserfläche, welche die äussere Belegung dieser merkwürdigen Vorrichtung bildet, den entgegengesetzten Zustand erregt. Die Guttapercha, durch welche hindurch die Induction stattfindet, ist nur 0,1 Zoll dick und die Grösse der Belegung ist ungeheuer. Die Oberfläche des Kupferdrahtes beträgt nahezu 8300 Quadratfuss und die der äusseren Wasserbelegung 33 000 Quadratfuss, also das Vierfache. Daher das Ungewöhnliche der Resultate. Die Intensität der statischen Ladung ist nur gleich der Intensität an dem Batteriepol, aus dem sie herstammt, aber ihre Quantität ist wegen der ungemein grossen Ausdehnung des Leydener Apparates ungeheuer, und deshalb vermag der Draht, nachdem er geladen und von der Batterie getrennt worden, die Wirkungen eines beträchtlichen Volta'schen Stromes zu äussern und liefert Resultate, welche mit den besten Elektrisirmaschinen und Leydener Flaschen bisher nicht erreicht worden sind.

Dass der an der Luft liegende Draht keine dieser Erscheinungen zeigt, liegt einfach daran, dass die dem Wasser entsprechende äussere Belegung fehlt oder so entlegen ist, dass keine merkliche Induction stattfinden kann, und daher kann sich auch der innere Draht nicht laden. Bei dem an der Luft in dem Speicher liegenden Draht bilden der Fussboden, die Wände und die Decke des Raumes die äussere Belegung, aber diese befand sich in beträchtlicher Entfernung, und es konnten allenfalls nur die äusseren Theile der Drahtwindungen afficirt werden. Wie ich höre, zeigt auch ein 100 Meilen langer, an der Luft gerade ausgespannter Draht, so dass er in seiner ganzen Ausdehnung sich der Erde gegenüber befindet, diese Erscheinungen nicht, und hier muss der Abstand zwischen den inducirenden und inducirten Flächen (1483) im Verein mit der im Vergleich zur Guttapercha niedrigen specifischen Inductionscapacität der Luft das negative Resultat ergeben. Die Erscheinungen insgesammt liefern ein schönes Beispiel der Identität der statischen und dynamischen Elektricität. Der gesammte Kraftvorrath einer starken Batterie kann auf diese Weise in einzelnen Theilmengen entnommen und in Einheiten der statischen Kraft gemessen werden und lässt sich dennoch zu jeder Leistung der Volta'schen Elektricität benutzen.

Ich wende mich nun zu weiteren Folgerungen aus den vereinten statischen und dynamischen Wirkungen. Mit Guttapercha überzogene Drähte, die in Blei- oder Eisenröhren eingeschlossen oder in die Erde oder das Meer versenkt werden, zeigen dieselben Erscheinungen wie die eben beschriebenen. In allen diesen Fällen sind die Umstände derart, dass sie gleichfalls statische Inductionswirkungen gestatten. Solche unterirdische Drähte giebt es zwischen London und Manchester; sie bilden, wenn sie alle hintereinander verbunden werden, eine Länge von mehr als 1500

Meilen und können, da die Schleifen nach London zurückkehren, in Zwischenräumen von etwa 400 Meilen durch Einschaltung von Galvanometern an den Rückkehrstellen von einem einzigen Experimentator beobachtet werden. Dieser Draht oder die Hälfte oder der vierte Theil seiner Länge zeigte alle bereits beschriebenen Erscheinungen, nur mit dem Unterschiede, dass, da die Isolirung nicht so vollkommen war, die Ladung rascher sank. Man denke sich 750 Meilen des Drahtes, an den beiden Enden je ein Galvanometer *a* und *c* und in der Mitte ein Galvanometer *b*, alle drei im Beobachtungsraum aufgestellt und das Galvanometer *c* vollkommen mit der Erde verbunden. Setzte man den Batteriepol durch das Galvanometer *a* mit dem Draht in Contact, so wurde die Nadel augenblicklich abgelenkt, nach einer wahrnehmbaren Zeit erfuhr auch *b* eine Ablenkung und wiederum etwas später auch *c*; bei Einschaltung der Gesammtlänge von 1500 Meilen dauerte es zwei Secunden, ehe der elektrische Strom das letzte Instrument erreichte. Wenn ferner nach der (wegen mangelhafter Isolirung natürlich nicht gleichen) Ablenkung sämmtlicher Instrumente, die Batterie von *a* getrennt wurde, so stellte sich dieses Instrument sogleich auf Null ein, *b* aber erst ein wenig später und *c* noch später; es floss also ein Strom nach dem Endpunkte des Drahtes, während am Ausgangspunkte keine Strömung mehr vorhanden war. Durch kurzdauernde Berührung des Batteriepoles mit *a* wurde ferner dieses Galvanometer abgelenkt und kehrte in seine Ruhelage zurück, ehe das elektrische Agens das Galvanometer *b* erreicht hatte, das seinerseits einen Augenblick abgelenkt wurde und in die neutrale Lage zurückkehrte, ehe das elektrische Agens nach *c* gelangt war; es war also eine Kraftwelle in den Draht gesandt worden, welche längs desselben fortwanderte und sich an verschiedenen Stellen des Drahtes zu verschiedenen auf einander folgenden Zeitpunkten bemerkbar machte. Durch eine geeignete Folge von Berührungen war es sogar möglich, zwei einander folgende Wellen gleichzeitig in dem Draht zu haben, so dass in demselben Augenblicke, in welchem *c* durch die erste Welle abgelenkt wurde, *a* oder *b* von der zweiten afficirt wurde, und es ist nicht zweifelhaft, dass bei Vermehrung der Instrumente und genauer Achtsamkeit vier oder fünf Wellen auf einmal zur Beobachtung gelangen könnten.

Wenn das Galvanometer *a* unmittelbar nach Herstellung und Unterbrechung des Batterie-Contactes mit der Erde verbunden wird, so treten noch andere interessante Erscheinungen auf. Ein Theil der in dem Draht vorhandenen Elektricität kehrt zurück, geht durch das Galvanometer *a* und lenkt es in der vorigen entgegengesetzter Richtung ab, so dass an beiden Enden des Drahtes Ströme in entgegengesetzten Richtungen austreten, ohne dass ein Strom aus irgend einer Quelle in denselben eintritt. Oder wenn man *a* rasch hintereinander an die Batterie und dann an Erde anlegt, so sieht man, dass erst ein Strom in den Draht eintritt und dann an derselben Stelle austritt, ohne dass ein merklicher Theil nach *b* oder *c* wandert.

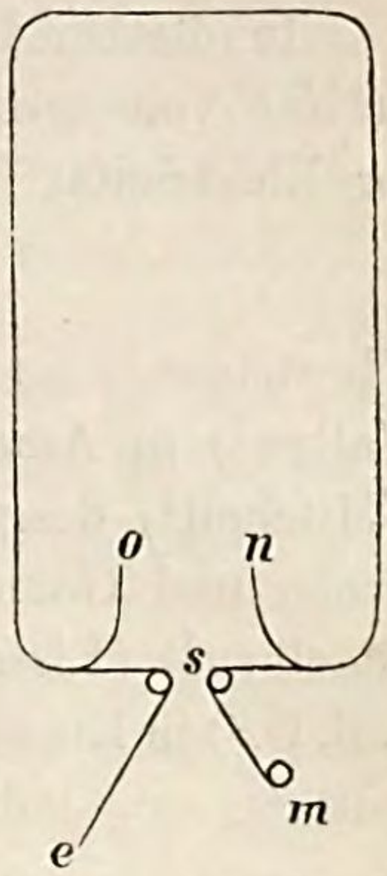
An einem in der Luft befindlichen Draht von gleicher Länge sind unter denselben Umständen keine derartigen Erscheinungen wahrzunehmen, oder treten, wenn man an der Hand des Princips die Einrichtungen sorgfältig trifft, nur in sehr schwachem und im Vergleich mit den obigen so augenfälligen Resultaten verschwindendem Grade auf. Die Wirkung erfolgt an dem Endpunkte (c) des sehr langen an der Luft liegenden Drahtes nur äusserst wenig später als an dem Galvanometer a, und es ist keine Ansammlung einer Ladung in dem Drahte merklich.

Alle diese die *Zeit* u. s. w. betreffenden Resultate beruhen offenbar auf derselben, den früher erwähnten Effect der statischen Ladung erzeugenden Ursache, nämlich der *seitlichen Induction* und sind nothwendige Folgen der die Leitung, Isolation und Induction betreffenden Principien, — drei Ausdrücke, die ihrer Bedeutung nach nicht von einander zu trennen sind (Experim. Unters. 1320, 1326[1]), 1338, 1561 etc.). Setzt man eine Schellackscheibe auf ein Goldblattelektrometer und auf diese einen geladenen Probekörper (eine isolirte Metallkugel von zwei bis drei Zoll Durchmesser), so divergiren die Goldblättchen; entfernt man die Probekugel, so verschwindet die Divergenz augenblicklich. Dies ist *Isolation* und *Induction*. Ist die Platte, anstatt aus Schellack, aus Metall, so bringt der Probekörper die Blättchen ebenso wie vorher zur Divergenz, wenn er aber entfernt wird, so bleibt, wie kurze Zeit auch die Berührung mit dem Elektroskop gedauert haben mochte, die Divergenz der Blättchen bestehen: Dies ist *Leitung*. Wiederholt man den Versuch, indem man statt einer Metallplatte eine Platte von Wallrath benutzt, so bleibt die Divergenz zum Theil bestehen, weil Wallrath zugleich isolirt und leitet, beides unvollkommen; aber auch Schellack leitet, wie sich zeigt, wenn man ihm Zeit lässt, und andererseits besitzt auch das Metall einen Widerstand und isolirt folglich, wie sich durch einfache Vorrichtungen zeigen lässt. Man verbinde nämlich ein Ende e eines

---

[1]) **1326**. Alle diese Betrachtungen erfüllen mich mit der tiefen Ueberzeugung, dass Isolation und gewöhnliche Leitung sich füglich nicht von einander trennen lassen, wenn wir in ihre Natur, d. h. in das allgemeine Gesetz oder die Gesetze eindringen wollen, nach denen dieselben in die Erscheinung treten. Sie scheinen mir in einem Vorgang an einander grenzender Theilchen zu bestehen, welcher von den bei der elektrischen Erregung auftretenden Kräften bedingt ist; diese Kräfte versetzen die Theilchen in einen Spannungs- oder Polarisationszustand, welcher sowohl die *Induction* als auch die *Isolation* ausmacht, und wenn sie in diesem Zustande verharren, so haben die an einander stossenden Theilchen ein Vermögen oder eine Fähigkeit, ihre Kräfte einander mitzutheilen, wodurch diese geschwächt werden, und Entladung eintritt. Alle Körper scheinen entladen zu können (444, 987), aber der *grössere oder geringere Grad* dieser Fähigkeit macht die verschiedenen Körper zu besseren oder schlechteren Leitern, zu schlechteren oder besseren Isolatoren. *Induction* und *Conduction* scheinen dem Wesen und Vorgange nach eins zu sein (1320), nur dass bei letzterer ein beiden gemeinsamer Effect auf das Höchste gesteigert ist, während er bei ersterer im besten Falle nur in einem fast unmerklichen Grade auftritt.

74 Fuss langen, an der Luft isolirten Kupferdrahtes von $^1/_{12}$ Zoll Durchmesser, dessen anderes Ende eine Metallkugel *m* trägt, mit der Erde, nähere zwei Punkte in der Nähe von *m* und *e* einander bis auf einen halben Zoll, wie bei *s*, und verbinde die äussere Belegung einer gut geladenen Leydener Flasche mit *e*, die innere Belegung derselben mit *m*, so ertheilt sie dem Draht eine Ladung, welche, trotzdem er ein so vortrefflicher Leiter ist, nicht ganz durch diesen, sondern zum grossen Theil in Form eines hellen Funkens durch die Luft bei *s* geht. Denn bei der Länge des Drahtes ist sein Widerstand für Elektricität von so hoher Intensität ebenso gross, wenn nicht gar grösser, als der der Luft.



Giebt man als durch solche und ähnliche Versuche erwiesen zu, dass der Leitung in einem Draht der Act der Induction vorangeht (1338), so sind alle Erscheinungen bei den in Wasser versenkten oder unterirdischen Drähten erklärt, und diese Erklärung wiederum dient, glaube ich, zur Bestätigung der niedergelegten Principien. Nachdem Wheatstone im Jahre 1834 die Geschwindigkeit einer Elektricitätswelle in einem Kupferdraht gemessen und sie zu 288 000 Meilen in der Secunde angegeben hatte, sagte ich 1838 auf Grund dieser Principien (1333), „dass die Geschwindigkeit der Entladung durch *denselben Draht* bedeutend verändert werden kann, wenn man die Umstände beachtet, unter denen die Entladung durch Wallrath oder Schwefel variirt werden kann. So muss sie beispielsweise sich ändern mit der Spannung oder Intensität der ersten treibenden Kraft, und diese Spannung ist Ladung und Induction. Wenn demnach in Wheatstone's Versuch die beiden Enden des Drahtes unmittelbar mit zwei isolirten, der Luft ausgesetzten, grossen Metallflächen verbunden würden, so dass der erste Act der Induction nach Herstellung des Contactes für die Entladung von dem inneren Drahtstück im ersten Augenblick fern gehalten und einen Augenblick auf seine mit der Luft gemeinschaftliche Oberfläche und die umgebenden Leiter verlegt würde, so wage ich vorherzusagen, dass der mittlere Funke eine grössere Verzögerung erleiden würde als vorher, und die Verzögerung dieses Funkens würde noch grösser sein, wenn jene beiden Flächen die innere und äussere Belegung einer grossen Leydener Flasche oder Batterie wären.“ Nun dies ist genau der Fall des in Wasser versenkten oder unterirdischen Drahtes, nur dass nicht seine Oberfläche den inducirten Belegungen (1483), sondern diese jener nahe gebracht werden; in beiden Fällen wird die auf die Ladung folgende Induction nicht augenblicklich fast ganz innerhalb des Drahtes, sondern in sehr grossem Maasse ausserhalb ausgeübt, und daher erfordert die Entladung oder Leitung, da sie durch eine niedrige Spannung verursacht wird, eine längere Zeit. Dies ist der Grund, weshalb bei dem 1500 Meilen langen

unterirdischen Draht die Welle zwei Secunden brauchte, um von einem Ende zum anderen zu gelangen, während die Zeit in dem gleich langen an der Luft liegenden Drahte fast unmerklich war.

In diesem Lichte betrachtet, ist es interessant, einen Blick zu werfen auf die von verschiedenen Experimentatoren gemessenen Geschwindigkeiten der Elektricität in Metalldrähten.

	Engl. Meilen pro Secunde
Wheatstone[1]) im Jahre 1834 in Kupferdrähten	288 000
Walker[1]) in Amerika in eisernen Telegraphendrähten . . .	18 780
O'Mitchell[1]) desgleichen	28 524
Fizeau und Gonnelle[1]) (Kupferdraht)	112 680
Dieselben[1]) (Eisendraht)	62 600
A. B. G.[2]) in Kupferdrähten des London-Brüsseler Telegraphen .	2700
dto.[2]) dto. des London-Edinburgher Telegraphen	7600.

Wie man sieht, weichen die erste und fünfte Bestimmung für Kupfer um das Hundertfache von einander ab. In Liebig's Bericht über Fizeau's und Gonnelle's Versuche wird überdies bemerkt, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit nicht der Leitungsfähigkeit proportional und dass sie von der Dicke des Drahtes unabhängig ist. Alle diese widerspruchsvollen Umstände scheinen rasch zu verschwinden, wenn wir auf die seitliche Induction des den Strom führenden Drahtes Acht haben und sie in Betracht ziehen. Wenn es sich um die Ermittelung der Geschwindigkeit einer kurzen elektrischen Entladung durch einen Draht von gegebener Länge handelt, so macht schon der einfache Umstand, ob derselbe, auf einem Rahmen gewickelt, einen kleinen Raum einnimmt oder durch einen grossen Raum an der Luft ausgestreckt ist oder an den Wänden befestigt ist oder auf dem Boden liegt, einen grossen Unterschied im Resultat aus. Bei so langen Leitungen, wie die beschriebenen, kann man ihre Leitungsfähigkeit nicht beurtheilen, wenn man nicht ihre seitliche statische Induction oder die alsdann in's Spiel tretenden Umstände der Intensität und Quantität berücksichtigt, insbesondere im Falle kurzdauernder oder intermittirender Ströme, denn dabei gehen statische und dynamische Vorgänge fortwährend in einander über.

Ich habe bereits bemerkt, dass für einen constanten Strom die Leitungsfähigkeit des Drahtes in Luft und in Wasser gleich ist. Dies steht in völligem Einklang mit den Principien und mit dem bestimmten Charakter der elektrischen Kraft, gleichviel ob sie sich im statischen Zustande, in Strömung oder im Uebergangszustande befindet. Sendet man einen Volta'schen Strom von gewisser Intensität in einen in Wasser liegenden langen

---

[1]) Liebig and Kopp's report 1850 (translated), p. 168.
[2]) Athenaeum, 14. Jan. 1854, p. 54.

Draht, dessen anderes Ende mit der Erde verbunden ist, so wird im ersten Augenblick ein Theil der Kraft dazu verbraucht, rund um den Draht eine seitliche Induction zu bewirken, die schliesslich an dem nahen Ende dem Batteriestrom an Intensität gleich ist und von hier allmählich abnimmt bis zu dem mit der Erde verbundenen Ende, woselbst sie Null wird. Während diese Induction ansteigt, bleibt die im Innern des Drahtes zwischen seinen Theilchen unterhalb der Grenze, die sie sonst erreichen würde; sobald aber die erstere ihr Maximum erreicht hat, wird die in dem Drahte der Intensität der Batterie proportional und somit gleich der in dem Draht an der Luft, in welchem dieser Zustand (wegen des Fehlens der seitlichen Induction) fast augenblicklich eintritt. Alsdann entladen sie natürlich gleich gut und leiten somit gleich gut.

Einen schlagenden Beweis von der Veränderung der Leitung eines Drahtes mit der Aenderung seiner statischen Seiteninduction giebt der Versuch, den ich vor sechzehn Jahren vorschlug (1333). Wenn man den Zwischenraum *s*, p. 473, so regulirt, dass der Funke einer constanten geladenen Leydener Flasche frei überspringt (während er es durch einen grösseren Zwischenraum nicht thäte), und die kurzen Verbindungsdrähte isolirt in der Luft sind, so kann der Versuch zwanzigmal wiederholt werden, ohne je fehlzuschlagen. Wenn aber darauf *n* und *o*, wie beschrieben, mit der inneren und äusseren Belegung einer Leydener Flasche verbunden werden, so schlägt der Funke niemals bei *s* über, sondern die ganze Ladung geht durch den langen Draht. Warum wohl? Die Elektricitätsmenge ist dieselbe, der Draht ist derselbe, sein Widerstand ist derselbe und der der Luft bleibt ebenfalls ungeändert; allein da die Intensität durch die momentan ermöglichte Seiteninduction geschwächt worden ist, reicht sie nicht hin, die Luftstrecke bei *s* zu durchbrechen, und wird schliesslich völlig in dem Draht selbst verbraucht, durch den in einer etwas längeren Zeit als vorher die gesammte Entladung erfolgt. Fizeau hat sich desselben Mittels bei den primären Volta'schen Strömen des schönen Inductionsapparates von Ruhmkorff mit grossem Vortheil bedient. Er schwächt hierdurch die Intensität dieser Ströme in dem Augenblick, wo sie sehr unvortheilhaft sein würde, und liefert uns ein schlagendes Beispiel von dem Vortheil, die statischen und dynamischen Erscheinungen als Folgen derselben Gesetze zu betrachten.

Clark hat Bain's Drucktelegraph mit drei Federn so eingerichtet, dass er auch die erwähnten Thatsachen in schöner Weise veranschaulicht. Die Federn bestehen aus Eisendrähten, unter denen ein mit Ferrocyankalium getränkter Papierstreifen mittelst eines Uhrwerkes regelmässig fortgleitet, auf welchem somit, so oft ein Strom hindurchgesandt wird, regelmässige Linien von Berlinerblau entstehen und die Zeit des Stromes aufgezeichnet wird. In dem beschriebenen Fall entstanden drei Linien nebeneinander in etwa 0,1 Zoll Abstand. Die Feder *m* gehörte zu einer besonderen Batterie,

deren Schliessungsdraht nur wenige Fuss lang war, und gab an, wann der Contactschlüssel mit dem Finger niedergedrückt wurde. Die Feder *n* befand sich an dem mit der Erde verbundenen Ende des langen Drahtes in freier Luft, und die Feder *o* an dem mit der Erde verbundenen Ende des langen unterirdischen Drahtes. Es war ferner die Einrichtung getroffen, den Schlüssel so spielen zu lassen, dass die Elektricität der Hauptbatterie in den einen wie in den anderen dieser Drähte eintrat und zugleich der Strom durch die Feder *n* den kurzen Schliessungskreis durchfloss. Wenn die Federn *m* und *n* in Thätigkeit waren, so verzeichnete *m* einen regelmässigen Strich von gleichförmiger Dicke, dessen Länge die Zeit angab, während welcher die Elektricität in die Drähte floss; *n* machte gleichfalls einen regelmässigen Strich, parallel mit dem ersteren und von gleicher Länge wie dieser und nur äusserst wenig nach ihm, und zeigte somit, dass der lange Draht an der Luft seinen elektrischen Strom fast augenblicklich zu dem fernen Ende fortleitet. Waren aber *m* und *o* in Thätigkeit, so trat der Strich bei *o* erst einige Zeit nach dem bei *m* auf und verlängerte sich noch, nachdem der Strich bei *m* bereits sein Ende erreicht hatte, d. h. nachdem die *o*-Batterie geöffnet worden war. Ja noch mehr, er war anfangs schwach, wurde dann stärker bis zu einem Maximum, auf dem er bleibt, so lange die Batterie geschlossen ist, um dann allmählich bis zu Null abzunehmen. Somit zeigte die Registrirung bei *o*, dass die Kraftwelle Zeit brauchte, um das ferne Ende des in Wasser liegenden Drahtes zu erreichen. Die anfängliche Schwäche des Striches zeigt, dass zu der lateralen statischen Induction längs des Drahtes Kraft verbraucht wurde. Der Umstand, dass er ein Maximum erreichte und hierauf sich gleich blieb, giebt an, wann diese Induction der Batterieintensität proportional wurde. Der Beginn seiner Abnahme zeigte die Oeffnung der Batterie an, und seine Fortdauer und allmähliche Abnahme die Zeit des Ausflusses der in dem Drahte aufgehäuften statischen Elektricität und hiermit das regelmässige Absinken der Induction, die ebenso regelmässig gesteigert worden war.

Mittelst der Federn *m* und *o* liess sich die Umwandlung eines intermittirenden Stromes in einen continuirlichen schön nachweisen, indem der unterirdische Draht durch die statische Induction in analoger Weise wie das Schwungrad einer Dampfmaschine oder der Windkessel einer Pumpe wirkt. Wenn man also den Contactschlüssel regelmässig aber rasch herunterdrückte und wieder losliess, so machte die Feder *m* eine Reihe kurzer Striche, die durch gleiche Zwischenräume von einander getrennt waren. Nachdem vier oder mehr solcher Striche entstanden waren, begann die zu dem unterirdischen Draht gehörige Feder *o* ihren Strich zu machen, anfangs schwach, dann auf ein Maximum steigend, aber immer continuirlich. Bei wenig raschem Spiel des Contactschlüssels wurde der *o*-Strich abwechselnd dicker und dünner, und wenn man den elektrischen Strom in noch längeren Intervallen an dem einen Ende des unterirdischen Drahtes eintreten liess, so wurden die

Aufzeichnungen der Wirkung an dem anderen Ende gänzlich getrennt von einander. Alles zeigte somit auf's schönste, wie der einzelne Strom oder die Stromwelle, einmal in den Draht eingeführt und ohne Unterbrechung in seiner Bahn vorwärts gehend, dadurch, dass sie zum Theil zur statischen Induction verbraucht wird, an Intensität, Zeit und anderen Umständen verändert werden kann.

Durch andere Einrichtungen an den Federn *n* und *o* konnte das nahe Ende des unterirdischen Drahtes unmittelbar nach der Trennung von der Batterie mit der Erde verbunden werden. So wurde der Rückfluss der Elektricität, sowie die Zeit und Art desselben hübsch aufgezeichnet; doch ich muss mich weiteren Details enthalten, da es im Princip bereits beschrieben ist.

Diese Versuche sind mannigfach variirt worden und es lassen sich weitere Abänderungen machen. So hat man die Enden der isolirten Batterie mit den Enden des langen unterirdischen Drahtes verbunden; dann gaben die beiden Hälften des Drahtes bei Verbindung mit der Erde entgegengesetzte Rückströme. In solchem Falle ist der Draht an dem einen Ende positiv, an dem anderen negativ und wird in Folge seiner Länge und durch die Batterie dauernd in demselben Zustande erhalten, in den die Leydener Entladung den kurzen Draht für einen Moment bringt (p. 473), oder den, um ein ähnliches, aber extremes Beispiel zu gebrauchen, ein Schellackfaden besitzt, dessen eines Ende positiv, dessen anderes negativ geladen ist. Coulomb erklärte das verschiedene Verhalten solcher Fäden, je nachdem sie lang oder kurz sind, aus dem Isolirungs- oder Leitungsvermögen derselben, und eine ähnliche Verschiedenheit tritt bei langen und kurzen Metalldrähten ein.

Der Charakter der hier beschriebenen Erscheinungen veranlasst mich, über den Gebrauch der von mir in Bezug auf Elektricität so oft angewandten Ausdrücke *Intensität* und *Quantität* zu sprechen. Diese Ausdrücke oder denselben gleichwerthige sind denen, welche zugleich die statischen und dynamischen Eigenschaften der Elektricität studiren, unentbehrlich. Jeder Strom schliesst, wo Widerstand vorhanden ist, das statische Element und die statische Induction in sich, während jeder Fall von Isolation mehr oder weniger von dem dynamischen Element und der dynamischen Leitung in sich birgt, und wir haben gesehen, dass dieselbe Volta'sche Quelle, derselbe Strom in demselben Draht von derselben Länge ein verschiedenes Resultat giebt mit der Aenderung der Intensität, welche Aenderungen der Induction rings um den Draht zur Folge hat. Der Begriff der Intensität oder einer den Widerstand überwältigenden Kraft ist in Bezug auf Elektricität, die statische wie die strömende, so nothwendig, wie der Begriff des Druckes in Bezug auf den Dampf eines Dampfkessels oder in Bezug auf die durch Oeffnungen oder Röhren strömende Luft, und wir müssen passende Ausdrücke für diese Zustände und diese Begriffe haben. Ich habe auch nie gefunden, dass

diese Ausdrücke zu irgend welchen Missverständnissen hinsichtlich der elektrischen Wirkung führen oder zu einer falschen Ansicht über den Charakter der Elektricität oder ihrer Einheit Anlass geben. Ich vermag keine Ausdrücke von gleicher Zweckmässigkeit und Sinngemässheit zu finden wie diese, keine, die dieselben Begriffe enthalten und nicht demselben Missbrauch ausgesetzt wären, dem diese unterliegen könnten. Es würde mir daher gekünstelt erscheinen, nach anderen Bezeichnungen zu suchen, zumal da mir der vorliegende Gegenstand mehr als je ihren grossen Werth und besonderen Vortheil in der Sprache der Elektricität gezeigt hat.

Mit der p. 468 erwähnten Lunte verhält es sich folgendermassen. Etwas Kupferdraht war mit geschwefelter Guttapercha überzogen worden; nach einigen Monaten fand sich, dass sich zwischen dem Metalle und dem Ueberzuge eine Schicht von Schwefelkupfer gebildet hatte. Wenn nun an einer Stelle die Hälfte der Guttapercha weggeschnitten und der Kupferdraht auf etwa $^1/_4$ Zoll fortgenommen wurde, so dass er nur noch mit der Sulphidschicht, die an der zurückgelassenen Guttapercha haftete, zusammenhing, so konnte dieses Sulphid durch eine Intensitäts-Batterie in lebhaftes Glühen versetzt und dadurch Schiesspulver mit äusserster Leichtigkeit entzündet werden. Mittelst dieser Lunte konnte Schiesspulver mit Sicherheit am Ende eines 80 Meilen langen Drahtes, ja durch einen 100 Meilen langen überzogenen Draht, der in einen Canal untergetaucht war, entzündet werden.

Ueber unterirdische Telegraphendrähte.[1])

An die Herausgeber des Philosophical Magazine and Journal.

Meine Herren,

Ich habe soeben Kenntniss erhalten von einigen merkwürdigen Erscheinungen, die sich an unterirdischen Telegraphendrähten zeigen und von Werner Siemens in Berlin in einer vom 15. April 1850 datirten Mittheilung beschrieben worden sind. Es sind dieselben Erscheinungen, welche mir von Latimer Clark gezeigt worden sind, und die ich in meiner (in Ihrem Magazine für März 1854, p. 197 enthaltenen) Mittheilung zum Nachweis der Richtigkeit meiner alten Ansichten über die Natur der Isolation, Induction und Leitung benutzt habe. Es ist nicht mehr als billig, dass ich auf dieselben hinweise, und ich halte sie für so interessant, dass Sie bereit sein werden, die nur sehr wenig gekürzte Mittheilung wiederabzudrucken. Die Erscheinungen sind an mit Guttapercha überzogenen und in die Erde gesenkten Drähten erzielt worden.

„Bei gut isolirten langen Telegraphendrähten zeigt sich beständig eine sehr merkwürdige Erscheinung. Ein Ende B des Drahtes sei isolirt und das andere A mit dem einen Pole einer Batterie verbunden, deren anderes Ende mit der Erde verbunden ist. In dem Augenblick, da man die Verbindung herstellt, beobachtet man in den der Batterie nahen Theilen einen kurzdauernden Strom von derselben Richtung des momentanen Stromes, welcher entstehen würde, wenn das Ende B mit der Erde verbunden würde; auf vollkommen isolirten Linien bleibt keine Spur dieses Stromes zurück. Ersetzt man mit Hilfe eines Commutators die Batterie plötzlich durch eine Erdleitung, so erhält man einen zweiten momentanen Strom von nahezu gleicher Intensität wie die des ersten, aber von umgekehrter Richtung. Hebt man alsdann die Verbindung von A mit der Batterie und der Erde auf, so dass dieses Ende isolirt bleibt, und verbindet gleichzeitig das Ende B mit der Erde, so beobachtet man abermals einen momentanen Strom von nahezu gleicher Intensität wie die des vorigen und von derselben

---

[1]) Aus dem Philosophical Magazine, Juni 1854.

Richtung wie die des ersten, d. h. des continuirlichen Batteriestromes. Diesen letzten Versuch kann man nur mit einer unterirdischen Doppelleitung machen, deren beide Enden A und B sich auf derselben Station befinden. Man könnte auf den ersten Blick vermuthen, dass diese Erscheinungen von secundären Polaritäten herrühren, die sich in dem Drahte ausbilden, allein dieser Meinung stehen viele Thatsachen entgegen. 1. Die Erscheinungen treten um so schärfer auf, je besser der Draht isolirt ist. 2. Die Ströme sind von viel kürzerer Dauer als diejenigen, welche von secundären Polaritäten bedingt sind. 3. Ihre Intensität ist proportional der Stärke der Batterie und unabhängig von der Intensität eines Nebenstromes, der etwa in Folge unvollkommener Isolation entstehen könnte; es folgt hieraus, dass die Intensität der instantanen Ströme die Maximalintensität der secundären Ströme in demselben Kreise bedeutend übertreffen kann. 4. Endlich ist die Intensität der instantanen Ströme proportional der Länge des Drahtes, während das umgekehrte Verhältniss statthaben müsste, wenn die Ströme von secundären Polaritäten bedingt wären.

„Die Erscheinungen sind leicht zu verstehen, wenn wir uns des schönen Versuches erinnern, durch den Volta den schlagendsten Beweis von der Identität des Galvanismus und der gewöhnlichen Elektricität gegeben hat. Er zeigte, dass, wenn er ein Ende seiner Säule mit der Erde und das andere mit der inneren Belegung einer nicht isolirten Leydener Batterie verband, diese augenblicklich eine der Stärke der Säule proportionale Ladung annahm. Gleichzeitig nahm er in dem die Säule mit der Batterie verbindenden Leiter einen instantanen Strom wahr, der nach Ritter alle Eigenschaften eines gewöhnlichen Stromes hat. Nun ist klar, dass der unterirdische Draht mit seinem isolirenden Ueberzug als eine ungeheure Leydener Batterie angesehen werden kann, in welcher die Guttapercha die Stelle des Glases vertritt, die innere Belegung durch die Oberfläche des Kupferdrahtes und die äussere Belegung durch das feuchte Erdreich gebildet wird. Um uns einen Begriff von der Capacität dieser neuen Art von Batterie zu machen, haben wir uns bloss zu erinnern, dass die Oberfläche des Drahtes per Kilometer 7 Quadratmeter beträgt. Bei Verbindung des einen Endes eines solchen Drahtes mit einer Säule, deren anderes Ende an Erde gelegt ist, während das andere Ende des Drahtes isolirt ist, muss dieser eine Ladung von demselben Vorzeichen und derselben Spannung annehmen wie die des mit ihm verbundenen Poles der Säule. Dies ist es, was bei dem ersten der erwähnten instantanen Ströme vor sich geht. Wenn man in Volta's Versuch die Verbindung zwischen der Säule und der Batterie aufhebt und die beiden Belegungen der letzteren leitend mit einander verbindet, so erfolgt eine Entladung gewöhnlicher Art. Dieser Entladung entsprechen die beiden instantanen Ströme von entgegengesetzter Richtung an den beiden Enden des geladenen Drahtes, welche man beobachtet, wenn man diese Enden unter Ausschluss der Säule mit der Erde verbindet. Man sieht auch ein,

dass der erste instantane Strom, derjenige, in welchem sich die Ladung des Drahtes kundgiebt, auch dann entstehen muss, wenn das andere Ende des Drahtes mit der Erde verbunden ist, obschon er von geringerer Intensität sein wird. Der instantane Strom geht in diesem Falle dem continuirlichen Strom voraus oder, wenn man lieber will, addirt sich demselben in den ersten Momenten. Die Intensität dieses instantanen Stromes ist viel grösser als die des continuirlichen, ohne Zweifel deshalb, weil während des Ladungsvorganges die zu den verschiedenen Punkten des Drahtes strömende Elektricität um so kürzere Wege durchläuft, je näher dieselben der Säule liegen."

Vorstehendes ist den *Annales de Chimie*, 1850, vol. XXIX, p. 398 etc.*) entnommen.

Ich bin, meine Herren,

Ihr sehr ergebener Diener

Royal Institution,
28. April 1854.

M. Faraday.

*) Siemens, Wissenschaftliche Abhandlungen I, 36. D. Ü.

Hypothesen über Magnetismus.[1])

Dieser Vortrag, dessen Ziel es war, die Aufmerksamkeit der Zuhörerschaft auf die verschiedenen hypothetischen Versuche zu lenken, die man gemacht hat, um eine physikalische Erklärung für die bekannten Eigenschaften der Materie hinsichtlich der magnetoelektrischen Erscheinungen derselben zu geben, folgte ganz naturgemäss auf den Vortrag von Frankland am 2. dieses Monats, welcher eine Darlegung der verschiedenen, von Davy, Ampère und Berzelius aufgestellten Ansichten enthielt, wie man sich die Vereinigung der Elektricität mit den materiellen Atomen oder Molekeln zu denken habe, um die elektrochemischen Wirkungen zu erklären, und zugleich die logischen und experimentellen Schwierigkeiten erwähnte, welche einer jeden dieser Ansichten entgegenständen. Es wurde zunächst auf Coulomb's Untersuchungen über die magnetische Wechselwirkung hingewiesen, auf die von ihm geäusserte Meinung, dass die Hypothese von zwei mit der Substanz der magnetischen Körper vereinigten Fluidis alle diese Erscheinungen erklären könne, sowie auf Poisson's tiefe mathematische Untersuchung über die Zulänglichkeit dieser Hypothese. Hierauf wurde an Oersted's Entdeckung über die Beziehung des gewöhnlichen Magnetismus zu elektrischen Strömen erinnert, welche uns eine enorme Erweiterung des Wirkungsbereiches der magnetischen Kräfte offenbarte und unsere Kenntnisse hierüber entsprechend vermehrte, und an die sich Ampère's schöne Forschungen schlossen, sowie seine (gleichfalls von sehr tiefen mathematischen Untersuchungen unterstützte) Hypothese, dass alle magnetischen Erscheinungen auf elektrische Ströme zurückzuführen seien, und dass um die Atome oder Partikel solcher Körper, wie Magnete, Eisen, Nickel u. s. w., und zwar um ihre als äquatoriale anzusehende Theile, von Natur elektrische Ströme in einer bestimmten Richtung kreisen. Auf die Oersted'sche folgten andere experimentelle Entdeckungen; man fand, dass elektrische Ströme im Stande seien, selbst Ströme zu induciren, und dass Magnete ähnliche Ströme erregen können, und wies hiermit die Identität der Wirkungen von Magneten und Strömen nach, Wirkungen, die verschieden sind von den gewöhnlichen magnetischen

---

[1]) Royal Institution Proceedings, 9. Juni 1854.

Anziehungen und Abstossungen. Alsdann folgte die Entdeckung des Diamagnetismus, der in Wirkungen besteht, die denen des gewöhnlichen Magnetismus analog sind, jedoch mit dem Unterschied, dass Anziehung an Stelle der Abstossung, und an Stelle der Anziehung Abstossung tritt. Diese Wirkungen erwiesen sich als so umfassend, dass alle nicht magnetischen Körper als diamagnetisch erkannt wurden, und dass *alle* Materie sich der Herrschaft jener magnetischen Kraft unterworfen zeigte, dessen physische Wirkungsweise die Hypothese zu erklären sucht. Da Ampère's Hypothese den Diamagnetismus nicht zu erklären vermochte, nahmen einige an, dass die magnetischen und elektrischen Kräfte in diamagnetischen Substanzen elektrische Ströme von umgekehrter Richtung wie in magnetischen Substanzen induciren; oder dass sie auch dort Ströme induciren können, wo vorher keine existirten, während in magnetischen Substanzen die dort vorhandenen, alle möglichen Richtungen einnehmenden Molecularströme bloss gezwungen werden sollten, eine bestimmte Richtung anzunehmen. Weber, ausgezeichnet als Mathematiker, bestätigte Ampère's Untersuchungen in ihrer ganzen Ausdehnung und fügte seiner Hypothese eine neue hinzu, dass die materiellen Theilchen Elektricität enthalten, welche erst unter dem Einfluss der magnetischen Induction in die Form eines Stromes übergehe, dann aber den Charakter eines Stromes annehme, dessen Richtung entgegengesetzt derjenigen sei, welche die von Ampère angenommenen, beständig die magnetischen Substanzen umkreisenden Ströme besitzen; hierdurch würden jene anderen Substanzen diamagnetisch.

De la Rive, der neuerdings die verschiedenen Hypothesen sehr sorgfältig geprüft und durch seine experimentellen Erfahrungen und Entdeckungen das grösste Recht hat, diese tiefen, subtilen und schwierigen Fragen der Forschung einer Betrachtung zu unterziehen, erinnert an die mannigfachen Erscheinungen, welche zeigen, dass die Kräfte, um die es sich hier handelt, den materiellen Theilchen und nicht bloss den Massen angehören (und auf diese durch die vereinte Wirkung jener übertragen werden), und theilt die magnetischen Wirkungen in vier Arten: die gewöhnliche, die diamagnetische, die Induction von Strömen und die Drehung eines Lichtstrahles. Er fordert von jeder annehmbaren Hypothese, dass sie alle *vier* Wirkungsarten erkläre, und man darf hinzufügen, dass sie auch mit den elektrochemischen Erscheinungen, wenn sie dieselben schon nicht erklärt, doch in Einklang stehen müsse. De la Rive meint, dass hinsichtlich dieser Wirkungsarten dieses Resultat sich unter Beibehaltung der Hypothesen von Ampère und Weber auf folgende Weise erreichen lässt. Er nimmt an, dass um alle materiellen Atome gleichartige Ströme, die einen wesentlichen Bestandtheil ihrer Natur bilden, ewig mit unverminderter Kraft oder Geschwindigkeit kreisen. Die Richtung dieser Ströme geht für jedes Atom durch einen bestimmten Durchmesser, der daher als Axe angesehen werden kann. Wo sie aus der Substanz des Atoms heraustreten, verzweigen

sie sich in allen Richtungen, gehen über alle Punkte der Oberfläche hinweg und convergiren gegen das andere Ende des axialen Durchmessers, um hier wiederum in das Atom einzutreten und diesen Lauf immer von Neuem zu wiederholen. Die Convergenz- und Divergenzpunkte sind gleichsam Kraftpole. Sind in einem gegebenen Raume die materiellen Atome dicht bei einander oder zahlreich (aus chemischen Gründen muss man solche Fälle annehmen), so können sich, der Hypothese zufolge, mehrere Atome zu einem Ringe vereinigen, so dass ihre centralen oder axialen Ströme ineinanderfliessen und nicht wie vorher über die Oberfläche jedes einzelnen Atoms zurückkehren; solchergestalt sind die Molekel der magnetischen Substanzen und die Molecularströme der Ampère'schen Hypothese. Sind die Atome in einem gegebenen Raume weniger zahlreich, stehen sie weiter von einander ab, oder sind sie gute Leiter, so dass der Strom ebenso ungehindert über die Oberfläche als durch die Axe geht, so bilden sie nicht solche Gruppen wie die Molekel magnetischer Substanzen, aber sie sollen dennoch unter dem Einfluss äusserer Magnete und Ströme einer Art Induction unterliegen können, und so entstehen Weber's Ströme von umgekehrter Richtung. Mit dieser Auffassung des elektrischen Zustandes der materiellen Atome und Molekel steht nach de la Rive auch die Induction momentaner Ströme und die Drehung eines Lichtstrahles in Einklang.

In der grossen Mannigfaltigkeit dieser Hypothesen und ihrer raschen Aufeinanderfolge scheint mehr ein Beweis der Schwäche als der Strenge dieses Gebietes der Physik zu liegen, und man muss die breiten Annahmen, die einer jeden zu Grunde gelegt sind, stets gegenwärtig haben. Selbst in der vollkommensten derselben, der von de la Rive, sind diese Annahmen sehr beträchtlich. Denn man muss sich die Molekel, wie gross auch die Anzahl der Atome sein mag, aus denen jedes einzelne besteht, als flache oder scheibenförmige Körper denken; man muss annehmen, dass die Atome des einen Molekels nicht die Anordnung der Atome eines anderen stören oder durchbrechen; dass die elektrochemischen Vorgänge mit einer solchen Constitution der Molekel im Einklang stehen können; dass die bewegende Kraft eines jeden Atomstromes ihren Sitz in der Axe hat und dass andererseits dem Durchgang des Stromes durch die Oberfläche sich *Widerstand* darbietet. Denn wenn zwischen der axialen und Oberflächenkraft in der einen oder anderen Richtung nicht ein Unterschied vorhanden wäre, so würden die Atome kein Bestreben haben, zu Molekeln zusammenzutreten.

Diese Bemerkungen sollen jedoch nicht als eine Herabsetzung der Hypothesen überhaupt oder als Einwürfe gegen ihre richtige Anwendung aufgefasst werden. Kein Forscher könnte ohne sie vorwärts schreiten, und Bemühungen, wie die de la Rive's, Ideen, die in ihrer früheren Gestalt einander entgegenstanden, in Harmonie zu bringen, sind von um so grösserem Werth, als sie von einem Manne ausgehen, der ebenso den Werth der Hypothese wie den der Gesetze, den Werth der Theorie ebenso wie den der

Thatsachen kennt und Proben seines schöpferischen Geistes auf beiden Gebieten abgelegt hat. Dennoch muss man für die Zurückhaltung eintreten, welche die Hypothese in die rechte Schranke weist und bereit ist, sie fallen zu lassen, wenn sie sich als mangelhaft erweist. Newton kann als Vorbild dienen, da er, wie aus seinen Briefen an Bentley hervorgeht, von der physischen Natur der Schwerkraftslinien zwar tief überzeugt, dennoch in seinen Veröffentlichungen bei dem Wirkungsgesetz der Kraft stehen blieb und hieraus seine grossen Resultate herleitete; ebenso auch Arago, der, als er die Erscheinungen des Rotationsmagnetismus entdeckte und deren physikalische Ursache nicht erkannte, philosophisch genug dachte, um sich der Vermuthungen zu enthalten.

Ueber einige Punkte in der Theorie des Magnetismus.[1])

3300. Während der letzten drei Jahre war ich, obschon nur ein Experimentator, kühn genug, neue Ansichten über magnetische Wirkungen aufzustellen und sie in den „Ueber magnetische Kraftlinien“[2]) und „Ueber physische Magnetkraftlinien“[3]) betitelten Abhandlungen zu veröffentlichen. Die erste Arbeit ist nur ein Versuch, zum Nutzen der Experimentatoren und Anderer einen correcten Ausdruck für die duale Natur, den Betrag und die Richtung der magnetischen Kraft innerhalb und ausserhalb der Magnete aufzustellen, ohne jede Hypothese über den Charakter der Quelle der Kraft, damit die, deren Denken zu neuen Aufschlüssen und Entdeckungen hinstrebt, frei seien von dem Zwange und dem schädlichen Einfluss derartiger Annahmen (3075, 3243). Die zweite Abhandlung war eine speculative Betrachtung über die wahrscheinliche physische Natur der Kraft, sowohl insofern sie ausserhalb als innerhalb eines Magnets, sowie im Innern der sogenannten magnetischen Körper existirt, und von der ausdrücklich gesagt wurde, dass ihr Wesen völlig hypothetisch ist (3243).

3301. Es giebt gegenwärtig zwei oder drei allgemeine Hypothesen über die physische Natur der magnetischen Kraft. Die erste ist die von Euler aufgestellte und für den nicht mathematischen Physiker auf einfache Weise in seinen Briefen[4]) dargelegte Aetherhypothese, welche die Idee von Strömungen in sich schliesst. Nach dieser Hypothese soll das magnetische Fluidum oder der Aether sich in Form von Strömen durch die Magnete und die sie umgebenden Substanzen und den Raum bewegen. Ferner die Hypothese der zwei magnetischen Fluida, die in allen magnetischen Körpern vorhanden und in den Polen eines Magnets angehäuft seien, Anziehungen und Abstossungen auf beide Fluida in die Ferne ausüben und so bewirken, dass die sie enthaltenden Körper sich aus der Ferne anziehen und abstossen. Endlich die Hypothese von Ampère, nach welcher rings um die Theilchen

---

[1]) Aus dem Philosophical Magazine, Februar 1855.
[2]) Phil. Trans. 1852, p. 25 [XXVIII. Reihe].
[3]) Phil. Mag., 1852, Juni, p. 401. [Oben p. 371.]
[4]) Euler's Letters, translated, 1802, vol. I, p. 214; vol. II, pp. 240, 242, 244.

von Magneten elektrische Ströme existiren, welche auf Theilchen mit ähnlichen Strömen in die Ferne wirken und durch deren Anordnung in der Substanz, der sie angehören, diese der magnetischen Wirkung unterliegt. Alle drei Vorstellungen sind von verschiedenen Physikern mehr oder weniger abgeändert worden, aber für den vorliegenden Zweck genügt mir die soeben dargelegte Unterscheidung derselben. Meine physikalische Hypothese geht nicht so weit wie die zweite und dritte der genannten Vorstellungen; denn sie macht keine Aussage über den Ursprung der magnetischen Kraft und über die Art, wie sie in einem Magnet erhalten bleibt; sie trifft mit der ersten Anschauung zusammen, macht aber keine so weitgehende Annahme. Sie betrachtet den Magnet als ein Kraftcentrum, umgeben von Kraftlinien als Repräsentanten der Kraft, als welche sie nun eine mathematische Begründung erhalten haben (3302), und diese selbst als *physische* Kraftlinien, die sowohl dem Dasein der Kraft im Innern des Magnets als auch ihrer Uebertragung und Aeusserung auf entfernte magnetische Körper wesentlich angehören. Diejenigen, welche an der Vorstellung vom Aether irgend festhalten, könnten diese Linien als Ströme oder als fortschreitende Vibrationen oder als stehende Wellenbewegung oder als einen Spannungszustand auffassen. Aus vielen Gründen muss man sie sich ebensowohl rings um einen von einem elektrischen Strom durchflossenen Draht als von einem Magnetpol ausgehend denken.

3302. Mein Vorschlag, die magnetischen Kraftlinien als Repräsentanten der magnetischen Kraft anzusehen, hat die Aufmerksamkeit zweier berufener Männer und hervorragender Mathematiker auf sich gelenkt, und es gereicht mir sehr zur Befriedigung und Ermuthigung, dass sie die Richtigkeit und Allgemeinheit dieser Methode bestätigen. Indem W. Thomson auf eine ähnliche Ansicht über Kraftlinien in ihrer Anwendung auf statische Elektricität (1295, 1304) und auf Fourier's Gesetz der Wärmebewegung verweist, sagt er, dass die Kraftlinien zu denselben mathematischen Ergebnissen führen wie Coulomb's Theorie, und (womöglich) sogar mittelst einfacheren analytischen Verfahrens als diese [1]), und weist dann hin auf die „strenge Begründung der Analogie, wonach man von dem *Leitungsvermögen eines magnetischen Mediums für magnetische Kraftlinien* reden darf.“ [2]) Van Rees hat über meine Kraftlinien eine mathematische Abhandlung in holländischer Sprache veröffentlicht [3]), die in Poggendorff's *Annalen* [4]) übergegangen ist, von der ich jedoch nur durch eine auszügliche Uebersetzung eine sehr unvollständige Kenntniss habe. Er macht, soviel ich sehe, demjenigen Theile meiner Ansicht, welchen ich den physikalischen nennen möchte, den Vor-

---

[1]) Phil. Mag., 1854, vol. VIII, p. 53.
[2]) Ibid. p. 56.
[3]) Trans. Royal Acad. Sciences of Amsterdam, 1854, p. 17.
[4]) Poggendorff's Annalen, 1853, vol. XC, p. 415.

wurf, dass sie nicht den Ursprung der Linien angiebt und kein Ausdruck jenes höheren Principes ist, welches die Vorstellung von magnetischen Fluidis und elektrischen Strömen mit sich führt; er sagt, sie verdränge nicht die älteren Theorien oder mache sie nicht überflüssig; dennoch glaube ich mit Recht annehmen zu dürfen, dass er die Kraftlinien, insoweit sie als Ausdruck der Kraft gelten sollen, als einen correcten Ausdruck derselben ansieht in dem ganzen Umfang der Hypothesen, die magnetische Fluida oder elektrische Ströme zur Grundlage haben. Es war stets meine Absicht, es zu *vermeiden*, an Stelle dieser Fluida oder Ströme irgend etwas Anderes zu setzen, damit unser Denken von dem Zwange vorgefasster Vorstellungen frei sei, allein denjenigen, welche ihre Vorstellung fixiren wollen, bietet sich das alte Princip des Aethers.

3303. Die Ermuthigung, welche ich aus dieser Würdigung der Methode, die magnetischen Kräfte durch Linien zu versinnbildlichen, seitens der Mathematiker schöpfe, giebt mir auch den Muth, mich ein wenig mehr mit der Frage nach der uns unbekannten wahren Natur der magnetischen Wirkungen zu beschäftigen. In der That, was uns fehlt, ist nicht eine Mannigfaltigkeit von Methoden, die Kräfte darzustellen, als vielmehr ein wahrer physikalischer Ausdruck dessen, was uns durch die Erscheinungen offenbart wird, und der diese beherrschenden Gesetze. Von den beiden Annahmen, an die man sich jetzt meist hält, den magnetischen Fluidis und den elektrischen Strömen, muss *eine* falsch sein; vielleicht sind es *beide*. Wenigstens sehe ich nicht, dass der Mathematiker, selbst wenn er meint, dass beide ein höheres Princip umfassen als eine meiner Annahmen, sagen kann, welche von ihnen wahr und welche falsch, oder behaupten kann, dass eine von beiden wahr sei. Keine dieser Vorstellungen würde mich auf die Erscheinungen des Diamagnetismus und, wie ich glaube, auch nicht auf die magnetische Drehung des Lichtes haben führen können, und ich bin der Meinung, dass, wenn die Frage nach der Möglichkeit der diamagnetischen Erscheinungen vorher hätte gestellt werden können, ein Mathematiker, der sich von einer dieser beiden Hypothesen hätte leiten lassen, diese Möglichkeit würde haben leugnen müssen. Der von mir eingeführte Begriff macht die Sache noch verwickelter, denn er ist mit den beiden früheren Vorstellungen unverträglich, so lange diese ausschliesslich auf einer Fernwirkung ohne Zwischenmittel beruhen, und dennoch ist die Vorstellung von Kraftlinien ein wahrer Ausdruck der magnetischen Wirkungen in Allem, was nicht hypothetisch ist. Wir haben somit nunmehr drei fundamentale Begriffe, von denen *zwei* wenigstens unmöglich, d. h. unzutreffend sein müssen.

3304. Es ist demnach klar, dass unsere physikalischen Vorstellungen sehr zweifelhaft sind, und ich kann mir nur Gutes davon versprechen, wenn wir uns bemühen, von solchen Voreingenommenheiten, wie sie darin enthalten sind, frei zu machen, und einmal die Kraft soviel als möglich

in ihrer Reinheit betrachten. Gegenwärtig können wir nicht an Polarität denken, ohne zu fühlen, dass wir unter die Herrschaft der einen oder anderen der beiden Hypothesen über den Ursprung der polaren Kräfte gezogen werden, und da mathematische Ueberlegungen die Sache nicht entscheiden können, so haben wir das Gefühl, als ob sie sich in derselben zweifelvollen Verfassung befände wie einst, ehe die neueren Forschungen vorlagen, die mit einander streitenden Theorien des Lichtes. Allein wie hier Arago's Vorschlag eines entscheidenden Versuches, gestützt auf die Anwendung des Wheatstone'schen Spiegels, und seine Verwirklichung durch Léon Foucault die Frage entschieden zu haben scheint, so dürfen wir auch hoffen, durch ein richtiges Urtheil im Verein mit der Erfahrung zu einer Lösung der Schwierigkeit in Betreff des Magnetismus zu gelangen.

3305. Würden wir die *Vertheilung* der Kraft eines Magnets zunächst an ihrem Ursprungsorte und dann in dem umgebenden Raume kennen, so würden wir einen sehr wichtigen Anhalt in der Verfolgung unserer Frage gewonnen haben, und wenn wir dies erreichen könnten, ohne viele oder auch nur eine Annahme zu machen, so würden wir uns in der günstigsten Lage zu weiterer Erforschung des Gegenstandes befinden. Stellen wir uns den Magnet als eine Art Sonne vor (man hat ja allen Grund zu glauben, dass die Sonne ein Magnet sei), polarisirt, mit antithetischen Kräften, den ganzen Raum umher mit ihren gekrümmten Strahlen erfüllend, wie die Sonne oder eine Kerze den Raum mit leuchtenden Strahlen erfüllt; und denken wir uns, dass diese Vorstellung für die Darstellung der wahren Vertheilung der Kräfte dasselbe leistet, wie die beiden früheren Ansichten, dass aber mathematische Erwägungen für jetzt nicht zu entscheiden vermögen, welche von diesen drei Ansichten besser oder schlechter ist als ihre Rivalinnen, so wird es sicher nothwendig sein, dass man zur Entscheidung des Gegenstandes so umfassende physikalische Erwägungen als möglich beibringe. Denn wenn es physische magnetische Kraftlinien giebt, die (hinsichtlich einer reellen Existenz) den Lichtstrahlen entsprechen, so erscheint es nicht so unmöglich, *ihnen* durch den Versuch beizukommen, und es muss von grosser Wichtigkeit sein, auf die Frage nach ihrer Existenz eine Antwort zu erhalten, zumal da es wahrscheinlich genug ist, dass die Antwort in bejahendem Sinne ausfallen würde. Ohne über die physikalische Hypothese des Magnetismus eine schärfere Behauptung aufzustellen als bisher (3299), will ich daher doch abermals die Aufmerksamkeit der Experimentalphysiker in einer mehr cursorischen Weise auf den Gegenstand lenken, sowohl auf die Mangelhaftigkeit der gegenwärtigen physikalischen Vorstellungen, als auch auf die mögliche Existenz physischer Kraftlinien, und die Bemerkungen, die ich zu machen habe, auf einige Punkte, wie *Polarität, Dualität* u. s. w., beschränken, wie es sich am besten machen lässt. Zu dieser Bemühung ermuthigen mich folgende Erwägungen: 1. Die von Mathematikern erfolgte Bestätigung der Zulässigkeit, abstracte Kraftlinien als Ausdruck der Rich-

tung und Grösse der magnetischen Kraft anzusehen. 2. Der Vortheil, den ich persönlich bei zahlreichen Gelegenheiten (3174) von der Anwendung dieser Linien gehabt habe. 3. Die innige Analogie zwischen der magnetischen Kraft und den anderen dualen Kräften im statischen oder dynamischen Zustande und insbesondere zwischen dem Magnet und der Volta'schen Batterie oder einer anderen einen elektrischen Strom unterhaltenden Quelle. 4. Euler's Idee von magnetischen Aethern oder kreisenden Fluidis. 5. Die von Isaac Newton ausgesprochene feste Ueberzeugung, dass auch die Schwere keine Wirkung in die Ferne ausüben könne ohne ein dazwischen befindliches Agens[1]), das eben den Bedingungen einer physischen Kraftlinie entspricht. 6. Das Beispiel von dem Kampfe und der schliesslichen experimentellen Entscheidung zwischen den beiden Lichttheorien.

3306. Ich glaube, dass Manche den von mir gebrauchten Ausdruck „Kraftorte" tadelnswerth fanden, insofern als er die Entscheidung der Existenz physischer Kraftlinien vorwegzunehmen scheint. Ich will mich bemühen, ihn, wenn nöthig, so anzuwenden, dass er keine positive Behauptung in sich schliesst. Nichtsdestoweniger darf ich bemerken, dass wir einen derartigen Ausdruck in Bezug auf einen Lichtstrahl gebrauchen, selbst für diejenigen Stellen des Strahles, wo er nicht ausgelöscht ist, und wo wir daher keine bessere Kenntniss von ihm oder seiner Existenz haben als in ähnlichen magnetischen Vorgängen. Wir gebrauchen diesen Ausdruck auch, wenn wir von der Schwerkraft sprechen, an Orten, wo kein zweiter gravitirender Körper vorhanden ist, und wo er, wenn er da wäre, nach unseren gegenwärtigen Ansichten nicht bewirken könnte, dass die Schwerkraft des ersten Körpers sich an dieser Stelle äussere oder hierher gerichtet werde.

Magnetische Polarität.

3307. Die Bedeutung dieses Ausdruckes ist rasch mehr und mehr unsicher geworden. Nach der gewöhnlichen Vorstellung hat Polarität mit dem Begriff von physischen Kraftlinien nicht nothwendig viel zu schaffen; doch muss jene in der Vorstellung, welche in Wahrheit der Natur entspricht, diesem entweder wesentlich oder mit ihm identisch oder absolut unverträglich und entgegengesetzt sein. Nach Coulomb's Ansicht beruht die Polarität auf der resultirenden Richtung der Wirkung zweier ge-

---

[1]) Newton sagt: „Dass die Schwerkraft der Materie eingeboren, immanent und wesentlich sei, so dass ein Körper auf einen anderen in die Ferne durch ein *Vacuum* wirken könne, ohne Dazwischenkunft von irgend Etwas, wodurch ihre Wirkung und Kraft auf einander übertragen würde, erscheint mir als eine so grosse Ungereimtheit, dass ich nicht glaube, dass Jemand, der philosophisch zu denken vermag, auf dieselbe verfallen könne. Die Schwerkraft muss durch ein beständig nach gewissen Gesetzen wirkendes Agens, verursacht werden; ob dieses Agens jedoch materiell oder immateriell sei, habe ich dem Urtheil meiner Leser überlassen." Siehe den dritten Brief an Bentley.

schiedener und von einander abstehender Mengen zweier magnetischer Fluida auf andere ebenso gesonderte Mengen, welche entweder ursprünglich getrennt sind, wie in einem Magnet, oder durch Induction eines Magnets geschieden worden sind, wie in weichem Eisen. Es gehört wesentlich zu dieser Hypothese, dass die polare Kraft der einen Art die polare Kraft derselben Art abstosse und die der anderen Art anziehe. Ampère denkt sich die Polarität nicht auf magnetischen Fluidis beruhend, die nach seiner Ansicht gar nicht existiren, sondern er nimmt an, dass um die materiellen Theilchen (oder Massen) geschlossene Elektricitätsströme kreisen, und dass die aus der Erfahrung bekannte Verschiedenheit der beiden Seiten dieser Ströme, welche sich in Anziehung und Abstossung anderer Ströme äussert, die Polarität ausmacht. Ampère's Ansicht ist (vorzugsweise durch Ergänzungen) von Weber, de la Rive, Mateucci und Anderen modificirt worden. Meine Ansicht über Polarität gründet sich auf das Merkmal der Richtung der Kraft selbst, was auch die Ursache der Kraft sein mag, und sagt aus, dass, wenn bei der Bewegung eines elektrisch leitenden Körpers in constanter Richtung nahe bei oder zwischen Körpern, die auf sich selbst oder auf einander magnetisch wirken, ein Strom von constanter Richtung in ihm entsteht, die magnetische Polarität dieselbe ist; ist die Bewegung oder der Strom umgekehrt, so zeigt sich die entgegengesetzte Polarität. Die Angabe gilt für das Aeussere wie für das Innere der magnetischen Körper, wenn nur der elektrische Strom erregt wird, und beruht auf der zwar unbekannten aber wesentlich dualen oder antithetischen Natur der Kraft, die wir Magnetismus nennen (3154).

3308. Die vielfache Bedeutung des Wortes Polarität und die verschiedenartige Deutung von Polaritätsangaben, die gegenwärtig gäng und gebe ist, zeugen von der zunehmenden Unsicherheit des Begriffes und des Wortes selbst. Manche erblicken in der blossen Einstellung oder Anziehung oder Abstossung eines der Wirkung eines Magnets ausgesetzten Körpers ein ausreichendes Merkmal der Polarität, und ich halte dies auch für ein ebenso gutes Beweismittel als irgend eine feinere Anordnung (2693), wenn man nur den alten Begriff der Polarität in Betracht zieht. Andere halten es für erforderlich, dass, um zwei Körper, die unter der Herrschaft eines Magnets stehen, als polar anzusehen, sie durch ihre Wirkungen eine gegenseitige Relation zu einander zeigen müssen. Tyndall betrachtet, ohne damit irgend etwas über die Natur der magnetischen Kraft auszusagen, weiches Eisen als Typus und meint, dass ein Körper, der die gleichen, antithetischen Erscheinungen wie dieses unter dem Einfluss einer magnetischen Kraft zeigt, sich in einem gleichen, antithetischen Polaritätszustande befindet.[1]) Thomson scheint nicht der Ansicht zu sein, dass zwei Körper, die diese antithetischen Lagen oder Erscheinungen zeigen, hinsichtlich dessen, was man ihren polaren Zustand nennen kann, einander nothwendig entgegengesetzt sind[2]), sondern

---

[1]) Athenaeum, Nr. 1406, p. 1203.
[2]) Ibid. Columne 3 gegen Ende.

legt, wie ich glaube, mehr Gewicht auf Differentialwirkungen und nähert sich in dieser Beziehung der im Allgemeinen von Becquerel und mir selbst vertretenen Ansicht. Matteucci meint, dass die gesammte Masse des polaren Körpers in Abhängigkeit von seinen Theilchen sein muss, wie eine Eisenmasse es ist, und dass eine Eisenlösung und gewisse Eisensalze nicht in eigentlichem Sinne Pole haben, sondern dass an den dem wirksamen Pole nächstliegenden Punkten Magnetismus von ersterem entgegengesetztem Vorzeichen auftritt, umgeben von Magnetismus, dessen Vorzeichen gleich dem des abgewandten Poles, so dass die beiden Enden eines Stabes aus einer solchen Substanz zwischen zwei wirksamen Polen keine Beziehung zu einander haben.[1]) Becquerel meint, dass in gewissen Fällen Polarität in einer zur Längsrichtung senkrechten Richtung auftreten und so Erscheinungen hervorbringen könne, welche von Anderen durch eine umgekehrte Polarität erklärt werden. In der Auffassung sehr vieler Anderer von der Polarität ist diese stets mit dem Begriff der Quelle der polaren Wirkung verknüpft, sei es, dass man darunter eine Anhäufung magnetischer Fluida an den Polen des wirksamen Magnets verstehe, sei es die Wirkung elektrischer Ströme in bestimmter Lage rings um die Molekel; derartige Auffassungen dehnt man auch auf den Fall aus, wo die inducirte Polarität, wie im Wismuth u. s. w., umgekehrter Art ist wie die des wirksamen Magnets. Andere, wie Weber, ergänzen Ampère's Hypothese dahin, dass sie Elektricität annehmen, die nicht an die Theilchen, sondern an die Masse des der Induction ausgesetzten Körpers unzertrennlich gebunden sei. Manche bringen, wie ich glaube, die Polarität in abhängige Beziehung, nicht zu dem wirksamen Magnet, sondern zu den benachbarten oder umgebenden Substanzen; und ich schlage vor, wenn einst die Annahme physischer Kraftlinien gerechtfertigt erscheinen sollte, das was man gemeinhin Polarität nennt, von der wahren Polarität (3307) zu unterscheiden, welche auf der Krümmung der Kraftlinien beruht, die ihrerseits von dem besseren oder schlechteren Leitungsvermögen der Substanzen bedingt ist, die die gewöhnlichen polaren Erscheinungen zeigen (2818).

3309. Die älteren Ansichten über polare Wirkung und über den Magnetismus selbst sind durch die Entdeckung des Diamagnetismus mächtig erschüttert worden. Ich bin von meiner anfänglichen Annahme, dass der Nordpol eines Magnets in dem ihm nächsten Theile eines Stückes Wismuth oder Phosphor die gleiche, also Nordpolarität inducire, bald zurückgekommen; da aber sehr hervorragende Männer an dieser Ansicht festhalten und damit die Vorstellung von dem Dasein magnetischer Fluida oder geschlossener elektrischer Ströme, als der Quelle der magnetischen Kraft, verknüpfen, so bedarf es fortgesetzter Untersuchung, die, welche Argumente auch immer obsiegen mögen, höchstwahrscheinlich zu einem Prüfstein werden und zur

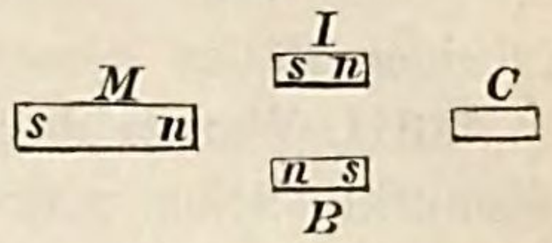
---

[1]) Cours spécial sur l'induction etc., p. 201.

Aufschliessung echter wissenschaftlicher Wahrheit führen wird. Mir scheint diese Ansicht, wenn nicht magnetisch Unmögliches, doch wenigstens erhebliche Widersprüche und beträchtliche Verwechslungen in sich zu schliessen, von denen ich einige, jedoch nur in dem Wunsche, den Gegenstand im Allgemeinen aufzuhellen, anführen will.

3310. Wenn ein gewöhnlicher Magnet M, Fig. 1, durch seine Wirkung auf ein Stück Eisen oder eine andere paramagnetische Substanz I dieselbe polar macht, indem er das ihm nähere Ende in den entgegengesetzten Zustand, wie er gewöhnlich verstanden wird, versetzt, während eine diamagnetische Substanz B, wie Wismuth, durch seinen Einfluss derart polar wird, dass das nähere Ende den gleichen Zustand annimmt, so müssen B und I zeitweilig selbst Magnete sein und auf den Magnet M zurückwirken; oder wenn man bewirken könnte, dass sie, nachdem M entfernt worden, ihren Zustand beibehalten (wie es in der That bei I der Fall ist), so müssten sie auf eine dritte magnetische Substanz C selbst wie ein Magnet wirken. Wenn M auf I wirkt, so erstreckt sich den geltenden Theorien zufolge sein Einfluss auf alle Theilchen des letzteren und bringt sie in die ihm selbst gleiche polare Lage, während diese selbst, der einfachen Annahme gemäss, zugleich als Molecularmagnete auf einander wirken und die Polarität der ganzen Masse an ihren beiden Enden verstärken. In ähnlicher Weise muss M auf B wirken, die Masse und alle ihre Theilchen polarisiren; denn die Wirkung muss sich auch auf die kleinsten Theilchen des diamagnetischen Körpers B erstrecken, und in der That wissen wir aus Erfahrung, dass eine mit pulverisirtem Wismuth gefüllte Röhre sich gerade so wie ein massiver Stab aus diesem Metall verhält. Aber wie verhält es sich nun mit der gegenseitigen Wirkung dieser Wismuththeilchen auf einander? Denn wenn man auch annehmen darf, dass sie sämmtlich eine umgekehrte Polarität besitzen wie M, so können sie doch nicht gegen einander eine umgekehrte Polarität haben. Sie müssen sämmtlich die gleiche Polarität besitzen. Die Nordpolarität des einen Theilchens muss der Südpolarität des nächsten in der Polarisationsrichtung gegenüber liegen. Es muss wahr sein, dass diese Theilchen auf einander wirken, da Tyndall's Resultate über die Wirkung des Druckes dies auf dem allein richtigen Wege, nämlich dem des Versuches bewiesen haben. Anzunehmen, dass sie keine derartige Wirkung auf einander ausüben, hiesse sich mit der wesentlichen Natur der magnetischen Wirkungen in Widerspruch setzen, und es bliebe kein Grund übrig zu der Ansicht, dass der Magnet selbst auf die Theilchen oder diese auf jenen zurück wirken. Wenn sie auf einander so wirkten wie der Magnet der Annahme gemäss auf sie selbst wirkt, wenn sie also entgegengesetzte Pole inducirten, dann wäre die Wirkung des Magnets aufgehoben, und um so sicherer, je dichter die Theilchen aneinander lägen, während Tyndall gezeigt

Fig. 1.



hat, dass der magnetische Zustand des Wismuths durch die dichte Aneinanderlagerung der Theilchen verstärkt wird, und daher haben wir eine weitere Berechtigung zu schliessen, dass ihre Wirkung auf einander oder ihre gegenseitige Beeinflussung derart ist, dass der Zustand der Masse verstärkt wird. Wenn aber die Nordpolarität eines Theilchens der Südpolarität des ihm nächsten entspricht und dazu beiträgt, sie aufrecht zu erhalten und zu verstärken, so muss die Kraft der ganzen Masse von einerlei Art sein, so dass sie als Magnet dieselbe Art von Polarität besitzen muss wie die Theilchen selbst. Denn ob man sich denkt, dass ein Wismuththeilchen aut ein Nachbartheilchen oder auf ein entferntes Wismuththeilchen, oder dass eine Masse von Theilchen auf das entfernte wirkt, — die Wirkung muss in beiden Fällen genau von derselben Art sein.

3311. Warum aber sollte ein polarisirtes Wismuththeilchen, auf ein anderes Wismuththeilchen wirkend, in ihm die gleiche, in einem Eisentheilchen aber die entgegengesetzte Polarität hervorrufen? Oder warum sollten Wismuth- und Eisenmassen, wenn sie als Magnete wirken (3310), so verschiedene Effecte hervorbringen? Wäre dies der Fall, so würde der Nordpol eines paramagnetischen Körpers in dem ihm nächsten Ende eines Eisenstabes einen Südpol induciren, während der Nordpol eines diamagnetischen Körpers einen jenem entgegengesetzten, also in demselben Ende des Eisenstabes an demselben Orte und in derselben Lage einen Nordpol hervorrufen würde. Dies würde auf die Annahme zweier Arten von Magnetismus, d. h. zweier Nordfluida (oder elektrischer Ströme) und zweier Südfluida hinauskommen, und die Nordpolarität des Wismuths müsste sich von der des Eisens ebenso unterscheiden wie ein Pol von dem anderen. Ja noch mehr, die Nordpolarität des Wismuths und die Südpolarität des Eisens müssten in allen Punkten genau gleiche Eigenschaften haben und sich in nichts als im Namen von einander unterscheiden, und ebenso müsste die Südpolarität des Wismuths sich der Nordpolarität des Eisens absolut gleich erweisen. Was heisst dies thatsächlich anders, als dass sie wirklich gleich *sind*? Und warum sollten wir nicht die Bestätigung und den unfehlbaren Beweis hierfür, den uns die Versuche mit dem bewegten Draht liefern (3307, 3356), gelten lassen?

3312. Wenn wir einen Magnet als inducirenden Körper anwenden (3310) und festhalten an der Vorstellung von magnetischen Fluidis, die an den Polen angehäuft seien und einander anziehen, oder sich abstossen, wenn sie gleichnamig sind, dann tritt die Unzulässigkeit der Annahme, dass das Nordfluidum eines gegebenen Poles das Nordfluidum des einen und das Südfluidum des anderen Körpers, oder dass das Nord- und Südfluidum des wirksamen Magnets ein und dasselbe Fluidum im Wismuth und im Eisen anziehen könne, klar hervor. Oder wenn wir uns, anstatt eines Magnets, eines Solenoids oder einer einen elektrischen Strom führenden Spirale aus Kupferdraht bedienen und finden, dass analoge Wirkungen hervorgebracht

werden, sollen wir dann annehmen, dass die elektrischen Ströme derselben, auf die angeblich um die Theilchen der Substanz kreisenden Ströme wirkend, diese bald an der einen Seite bald an der anderen anziehen? Oder wenn Körper wie Wismuth und Platin in eine solche Spirale eingeführt werden, sollen wir zugeben, dass in ihnen durch ein und dasselbe inducirende Agens Ströme von entgegengesetzter Richtung inducirt werden, selbst da, wo alle anderen Erscheinungen, deren es mancherlei giebt, auf eine hinsichtlich der Richtung gleichförmige Wirkung hinweisen und nur die Stärke derselben verschieden ist?

Media.

3313. Betrachten wir nun einmal die Wirkung verschiedener *Media* und ihre Aeusserung in Betreff der Polarität. Wird eine schwache Lösung von Eisenvitriol[1]) *m* in einer hermetisch verschlossenen (2279) dünnen Glasröhre von etwa 1 Zoll Länge und $^1/_3$ bis $^1/_4$ Zoll Durchmesser zwischen den Magnetpolen an freier Luft horizontal aufgehängt, so stellt sie sich axial ein und verhält sich in anderen Beziehungen wie Eisen. Ersetzt man die Luft zwischen den Polen durch eine Lösung *n* derselben Art wie *m*, nur ein wenig stärker, so stellt sich die Lösung in der Röhre äquatorial, wie Wismuth. Eine etwas schwächere Lösung als *m*, sie sei mit *l* bezeichnet, in eine ähnliche Röhre eingeschlossen, verhält sich in Luft wie Wismuth, aber in Wasser wie Eisen. Dies sind nun genau die Wirkungen, welche man der Polarität zugeschrieben hat, und durch die man die Annahme, dass die Polaritäten der paramagnetischen und diamagnetischen Körper einander umgekehrt seien, als bewiesen angesehen hat. Allein wie will man bei genauerer Prüfung die Vorstellung von Polarität auf diese Fälle anwenden, oder diese auf jene zurückführen? Die Lösung *l* stellt sich ein und verhält sich in Luft wie Wismuth und in Wasser wie Eisen; sollen wir hieraus schliessen, dass ihre Polarität in diesen beiden Fällen einander umgekehrt ist? Und wenn so, welche Gründe und Ursachen können wir für einen solchen Gegensatz angeben, da wir doch annehmen müssen, dass dieses Verhalten von dem inneren oder molecularen Zustande bedingt sei.

3314. Zunächst kann in keiner Weise ein Mangel an magnetischer Continuität der Theile mit dieser Umkehrung der Erscheinungen etwas zu schaffen haben; denn durch frühere Versuche ist zur Genüge gezeigt worden[2]), dass solche Lösungen magnetisch ebenso continuirlich sind wie Eisen selbst.

3315. Ferner erscheint es mir unmöglich zu sagen, dass das Medium

---

[1]) Der Gehalt an krystallisirtem Eisenvitriol betrage in jedem Cubikzoll Wasser für *l* 4 Gran, für *m* 8, *n* 16 und *m'* 32 Gran.

[2]) Phil. Mag., 1846, vol. XXIX, p. 254 [oben p. 424].

zwischen dem Magnet und dem aufgehängten Flüssigkeitscylinder die directe Kraftwirkung des ersteren auf letzteren abschneiden oder irgendwie beeinflussen könne, so dass die Richtung der inneren Polarität geändert werde. Denken wir uns die Röhre mit der Lösung *m* gefüllt und von der Lösung *l* umgeben, so wird sie sich einstellen wie Eisen; ist sie von der stärkeren Lösung *n* umgeben, so wird sie pointiren wie Wismuth. Bei ausreichender Sorgfalt kann man diese Flüssigkeiten in einer Reihe so anordnen, wie Fig. 2 und 3 andeuten, wo die geschlossenen Linien zwischen den Polen die Gestalt der dünnen Glaströge vorstellen und die Buchstaben die darin enthaltenen Lösungen. In Fig. 2 sehen wir, dass die Wirkung auf *m* dieselbe ist wie auf *m'* und beide Lösungen sich in gleicher Weise, nämlich äquatorial einstellen; die Wirkung auf *m* ist auch nicht geändert worden durch die Kraft der Pole, welche *n*, *m'* und *n'* zu durchsetzen hat. In Fig. 3 sehen wir, dass bei gleicher Kraft *m'* sich wie Wismuth und *m* wie Eisen einstellt, obschon sie dieselben Lösungen sind wie im vorigen Falle *n* und *m'*. Eine Aufhebung der Kraft durch die Media kann nicht Ursache dieser Aenderungen, der gleichen Einstellung in dem ersten und der umgekehrten Einstellung in dem zweiten Falle sein. Was man allenfalls von einer derartigen Krafthemmung erwarten dürfte, wäre vielleicht eine Verminderung der Wirkung, aber keine Umkehrung der Polarität. Vielmehr weisen alle Ueberlegungen darauf hin, dass alle Theile dieser Lösungen in dem Felde gleichzeitig *dieselbe Polarität* haben, d. h. dass die Kraftrichtung in ihnen und ihre innere Beschaffenheit dieselben sind; dass jede Lösung auch in combinirter Anordnug ganz in derselben Weise und in demselben Maasse afficirt wird, wie wenn sie das ganze magnetische Feld ausfüllt, obschon sie sich unter besonderen Umständen bald wie Eisen, bald wie Wismuth einstellt (3362, 2414).

Fig. 2.

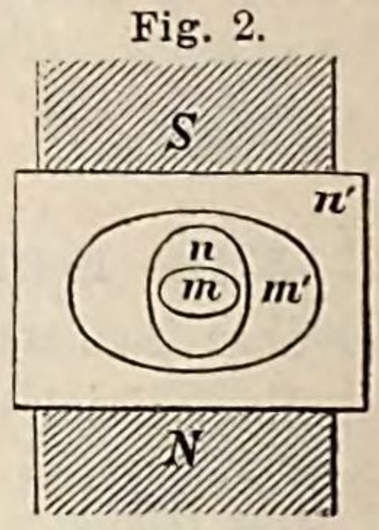
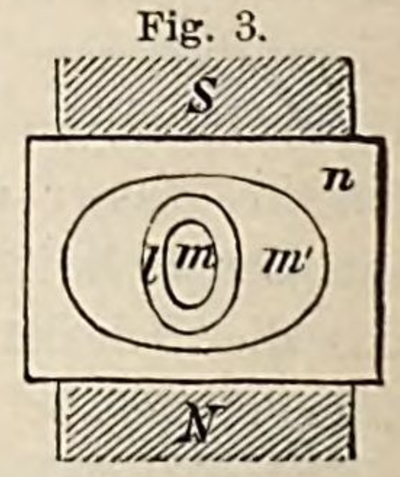


Fig. 3.



3316. Diese Bewegungen und Einstellungen derselben oder verschiedener Flüssigkeiten bilden die Gesammtheit der Vorgänge und Angaben, wodurch sich angeblich die entgegengesetzten Polaritäten der paramagnetischen und diamagnetischen Körper von einander unterscheiden, und die Erscheinungen, welche die Lösungen *l* und *m* in der Luft darbieten, sind genau dasselbe, was uns der diamagnetische Phosphor einerseits und das paramagnetische Platin andererseits zeigen. Wir wissen jedoch, dass diese Vorgänge oder Einstellungen eine Differentialwirkung der Massen der beweglichen und der sie umgebenden Lösung (oder der Luft) ist. Zur Erklärung derselben bedarf es keiner structurellen oder inneren Polarität von entgegengesetztem Sinne (2361, 2757). Wenn man also dennoch sagt, dass die Lösung *m* die eine Polarität in *l* und die um-

gekehrte in *n* habe, so würde dies heissen, dass die Polarität von der *Masse m* bedingt, aber von ihren Theilchen unabhängig sei; denn man kann schwerlich annehmen, dass der Einfluss des umgebenden Mediums (das selbst bloss der gleichen Inductionswirkung ausgesetzt, als Magnet aber fast gänzlich unwirksam ist) auf die Theilchen von *m* grösser sei als der des dominirenden Magnets.[1]) Es würde auch heissen, dass die Polarität von *m* ebenso oder noch mehr von dem umgebenden Medium als von dem Magnet selbst abhängig sei, und dass die Massen von *m* und *l* und selbst ihre *Gestalt* die bedingende Ursache der Polarität seien; hiermit würde man aber die Polarität als gänzlich unabhängig erklären von dem inneren molecularen Zustande und somit, wie mir scheint, die letzten Ueberbleibsel der hergebrachten Vorstellung vernichten. Ich für meine Person kann es nicht begreifen, dass, wenn eine kleine Kugel von *m* in der Lösung *l* von einem ihr genäherten Magnetpol angezogen und in der Lösung *n* von demselben Pol abgestossen wird, ihre Theilchen in dem einen Falle in umgekehrtem Sinne polar sein sollen wie in dem anderen; oder dass, wenn die dem Nordpol eines Magnets *zugewandte* Seite der Theilchen von *m* in *l* den Südzustand annehmen, die *abgewandte* Seite denselben Zustand annehmen soll, wenn man *l* mit *n* vertauscht. Auch kann ich mir nicht denken, dass, wenn die Theilchen von *m* in beiden Lösungen denselben polaren Zustand haben, das Ganze, als Masse, die entgegengesetzten Zustände haben sollte.

3317. Diese Differentialwirkungen zeigen sich in ununterbrochener Kette von dem äussersten Gliede der Reihe der paramagnetischen Körper bis zu dem der diamagnetischen Körperreihe, und es giebt innerhalb der Reihe keine Substanz, die man nicht mit den zu beiden Seiten derselben stehenden Substanzen so combiniren könnte, dass sie selbst die Erscheinungen und Wirkungen zeigte, welche man als Beweis für die entgegengesetzten Polaritäten des Eisens und Wismuths ansieht. Wie soll man nun dieselben in dem einen oder anderen Falle von den vermeintlichen Polarisationszuständen des Wismuths oder des Eisens unterscheiden? Es ist, meine ich, nur möglich, wenn man andere unbewiesene Annahmen macht, die die ganze Frage treffen. Zunächst muss man annehmen, dass, wenn der einen Magnet umgebende Raum ein Vacuum ist, in demselben keine magnetische Kraft existirt, man muss also leugnen, dass die Kraft eine Stelle in diesem Raume kreuzt oder trifft, wenn sich daselbst nicht eine materielle Substanz wie

---

[1]) Wenn die Polarität der Lösung im Innern von der der äusseren Masse bedingt ist und nur durch sie hindurch afficirt werden kann, weshalb sollte man dann nicht zugeben, dass die Luft und der Raum in wirksamer magnetischer Beziehung zu den von ihnen umgebenen Körpern stehe? Wie sollte ein Magnet auf einen entfernten Körper anders wirken, wenn doch das Innere der Eisensulphatlösung eine solche Einwirkung erleidet? Sollen wir das eine Mal die eine Wirkungsart durch aneinander grenzende Massen oder Partikel und das andere Mal eine andere in die Ferne annehmen?

Wismuth oder Eisen befindet; der leere Raum soll sich also in einem Zustande magnetischer Finsterniss (3305) befinden. Bedenken wir jedoch, welche Kenntniss wir von den Naturkräften und insbesondere von dualen Kräften haben, so ist dies eine so weitgehende Annahme, wie es keine weitgehendere in der ganzen Lehre von dem Magnetismus und der Elektricität giebt, und gerade dies ist auch der Punkt, gegen den man vor allen anderen Zweifel hegen, und den man durch experimentelle Untersuchungen weiter verfolgen muss. Es ist, wie wenn man behaupten wollte, es gebe in dem Raume zwischen der Sonne und der Erde kein Licht oder keine Lichtform, weil dieser Raum dem Auge unsichtbar ist. Newton wagte selbst in Bezug auf die Gravitation keine derartige Annahme zu machen (3305), sondern hütet sich selbst sorgfältig und warnt Andere davor, und Euler[1]) scheint ihm darin zu folgen. Diejenigen jedoch, welche eine derartige Annahme machen, können sich freilich der Berücksichtigung der Differentialwirkungen von im Vacuum befindlichen Körpern entschlagen und die Körper in die beiden wohlbekannten Reihen der paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen eintheilen. Allein selbst in diesem Falle müssen diejenigen, welche für die diamagnetischen Körper eine umgekehrte Polarität annehmen, auch weiter annehmen, dass der ihnen durch Induction ertheilte Zustand der Aeusserung und Uebertragung der magnetischen Kraft weniger günstig sei als der ursprüngliche unpolarisirte Zustand des Wismuths, — eine Annahme, die, wie mir scheint, den Naturvorgängen und dem schliesslichen stabilen Zustande, in den die physischen Kräfte alle ihnen unterworfenen Körper zu bringen streben, widerspricht. Dass, wenn ein Magnet auf ein Stück Eisen wirkt, die Richtung und Vertheilung der Kräfte derart sein muss, dass die gegenseitige Wirkung des Magnets und des Eisens im Einklang ist, kann ich wohl verstehen; dass der Magnet aber das Wismuth in einen solchen Zustand versetzen sollte, dass es ihn abstösst, während es, unbeeinflusst durch denselben, ihm insofern günstig ist, als es wenigstens indifferent ist, kann ich mir nicht denken. Drittens müssen diejenigen, welche an der Vorstellung von *magnetischen Fluidis* festhalten, annehmen, dass bei allen diamagnetischen Vorgängen und nur bei diesen die gegenseitige Wirkung, wie man sie sich sonst denkt, nicht bloss aufgehoben, sondern umgekehrt sei, so dass die Hypothese mit sich selbst im Widerstreit wäre; und diejenigen, welche *elektrische Ströme* als Ursache der magnetischen Wirkungen ansehen, müssen das Gesetz der inducirenden Wirkung derselben (soweit wir es kennen) in allen Fällen von Diamagnetismus aufgeben, gerade dann, wenn bei der Annäherung des diamagnetischen Wismuths in Form einer Spirale an den Pol ein mit diesem Gesetze *im Einklang stehender* Strom in ersterer auftreten würde.

---

[1]) Leters etc., translated. Letter LXVIII oder pp. 260—262.

Zeit.

3318. Ich will mir gestatten, einige andere Gedanken über den Zustand, in den diamagnetische Körper durch magnetische Induction versetzt werden, in Verbindung mit der die *Zeit* betreffenden Frage zu äussern. Soviel ich sehe, scheinen alle Naturkräfte, ausgenommen die vitalen oder die Kräfte der organischen Natur, das Bestreben zu haben, einen Ruhezustand hervorzubringen; während in der *lebenden* Natur die Wirkungen ewig fortschreitende sind und mehr auf einen künftigen als einen gegenwärtigen Zustand Bezug haben (Paget), zeigen alle Aeusserungen der Kräfte der *anorganischen* Natur das Bestreben, einen stabilen und dauernden Zustand herbeizuführen, haben die Kräfte also zum Endziel einen Ruhezustand, d. h. einen statischen Zustand.

3319. Wenden wir diese Betrachtung auf den Fall von Wismuth im magnetischen Felde an, so scheint es mir den Naturvorgängen entsprechender zu sein, zu meinen, dass der von dem Wismuth angenommene Zustand der schliesslichen und statischen Kraftäusserung des dominirenden Magnets auf dasselbe günstiger sei als der Zustand, den das Wismuth hatte, ehe es die Inductionswirkung erlitt, gerade so wie bekanntlich weiches Eisen, ehe es den Zustand, den ein Magnet in ihm erregen kann, angenommen hat, dem schliesslichen statischen Zustande der Kräfte nicht so günstig ist als nachher. Nun ist es durch zahlreiche Erfahrungen erwiesen, dass die *Zeit* bei gewöhnlichen magnetischen und magnetoelektrischen Vorgängen eine wesentliche Rolle spielt, und daher hat man allen Grund zu erwarten, dass es auch bei diamagnetischen Vorgängen der Fall ist. Es ist auch wohlbekannt, dass wir diese Zeit benutzen können und den Zustand eines Eisenstückes im magnetischen Felde prüfen können, ehe es den in ihm inducirten Endzustand erreicht hat, und nachher. Befindet es sich beispielsweise in einer Spirale und bringen wir es so in das magnetische Feld und verbinden *hierauf* die Spirale rasch mit einem Galvanometer, so können wir aus der Richtung des so erhaltenen elektrischen Stromes erkennen, ob die Behauptung richtig ist. Bei anderen Versuchsanordnungen und bei Anwendung grosser Eisenmassen kann die Zeit, welche wir so während der fortschreitenden Induction theilen oder abfassen können, eine Minute und darüber betragen. Angenommen, dies könnte in merklichem Grade mit diamagnetischen Körpern geschehen, so ergeben sich folgende Betrachtungen. Wir können uns denken, dass die Zustände einer Kugel oder eines Stabes von Wismuth im magnetischen Felde vor und nach der Induction zeitlich von einander geschieden sind. Wenn in dem Wismuth durch Induction ein Polarisationszustand erregt wird, der dem des Magnets umgekehrt ist, so muss es die Hinlenkung der magnetischen Kraft auf sich selbst *vor* der Induction mehr begünstigen als *nachher*; wenn dagegen, meiner Ansicht zufolge, die Polarität nicht die umgekehrte, sondern dieselbe ist wie die des Magnets, so muss das Metall

die Hinlenkung der magnetischen Kraft auf oder durch sich *nach* der Induction mehr begünstigen als *vorher*. In der Meinung, dass durch einen derartigen Versuch die Frage der umgekehrten Polarität und vielleicht auch die Existenz oder Nichtexistenz physischer Magnetkraftlinien entschieden werden könnte, habe ich auf mannigfache Weise Versuche angestellt, insbesondere indem ich Cylinder und Kugeln von Wismuth alternirende Bewegungen zwischen Magnetpolen von weichem Eisen, die von Spiralen umgeben waren, ausführen liess, um zu sehen, ob sich Erscheinungen zeigen, die der *Zeit* der Induction zuzuschreiben wären, habe aber bisher keinen Erfolg erzielt. Ich kann nicht zweifeln, dass die Zeit in Betracht kommt, aber sie scheint so kurz zu sein, dass sie durch die von mir angewandten Mittel nicht wahrzunehmen ist.

3320. Thomson hat diese Fragen der Zeit und Polarität in anderer Weise dargestellt. Wenn eine Wismuthkugel ohne Reibung in die Mitte des magnetischen Feldes gebracht wird, so wird sie sich vermöge ihrer Gestalt nicht richten oder bewegen, aber sie wird sich, wenn ihre Polarität der des Magnets umgekehrt ist, in labiler Gleichgewichtslage befinden, und wenn die *Zeit* ein Wirkungsfactor ist, so wird die Polarität der Kugel bei einer Drehung um ihre Axe zu der magnetischen Axe geneigt sein und sie wird unaufhörlich rotiren, also eine perpetuirliche Bewegung haben. Ich sehe nicht, wie man dieser Consequenz entgehen kann, und daher kann ich die Principien, auf denen sie beruht, nicht zugeben. Der Begriff einer durch statische Kräfte hervorgebrachten perpetuirlichen Bewegung ist, philosophisch gesprochen, unlogisch und unmöglich und ebenso, glaube ich, ist es mit dem polar entgegenwirkenden oder zuwiderlaufenden statischen Zustande, von dem ich oben gesprochen habe.

3321. Ich brauche hier nicht auseinanderzusetzen, wie meine Ansicht über die magnetischen Kraftlinien diesen Schwierigkeiten begegnet, da dies in früheren Arbeiten (2797 etc.) geschehen ist, aber ich will diejenigen, welche Neigung haben, den Gegenstand zu verfolgen, auf einen Fall von wirklich umgekehrter Polarität im magnetischen Felde verweisen (Experimental-Untersuchungen, 3238, Fig. 15), bei dem sie leicht sehen und begreifen werden, wie Thomson's Wismuthkugel beginnen muss zu rotiren und die Rotation fortsetzen muss, wenn, wie angenommen wird, der in der Figur dargestellte polare Zustand fortdauernd erneuert werden könnte.

3322. Wenn der Nordpol eines Magnets ein Stück Wismuth im Vacuum abstösst oder bewirkt, dass ein Wismuthstab sich äquatorial stellt, und wenn man findet, dass ähnliche Wirkungen an vielen paramagnetischen Körpern, die von etwas stärker paramagnetischen Körpern umgeben sind, und ebenso an vielen diamagnetischen, die von etwas schwächer diamagnetischen Körpern umgeben sind, stattfinden, so scheint es mir vorsichtiger zu sein, zunächst zu untersuchen, wie diese letzteren Bewegungen zu Stande kommen, und wie es kommt, dass die Theile der Paramagnetica, welch

durch den Nordpol sicherlich in einen Südzustand versetzt worden sind, von ihm zurückweichen, und diese Ergebnisse alsdann vor Allem auf das Verhalten des Wismuths im Vacuum anzuwenden, ehe wir eine totale Umkehrung des Princips annehmen und doch wieder für die Substanzen Ausnahmen zulassen in dem allgemeinen Gesetz der magnetischen Polarität, ohne einen anderen Grund oder andere Thatsachen dafür zu haben, als die in Rede stehenden Erscheinungen.

Krümmung der magnetischen Kraftlinien. Abhängigkeit der Dualitäten.

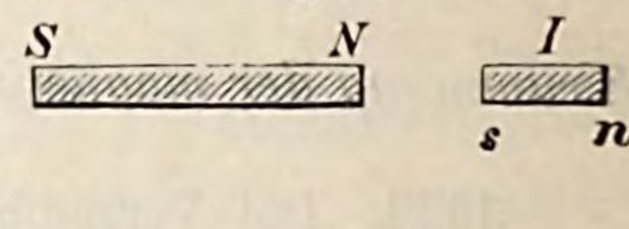
3323. Die Versinnbildlichung, zu der mir die magnetischen Kraftlinien dienen, schliesst die Vorstellung von der Krümmung derselben ein, und zwar nicht bloss aus Zweckmässigkeitsgründen, um die Vorstellung von den Kraftlinien brauchbar zu machen, sondern sie leitet sich von den Erscheinungen selbst ab und empfiehlt sich durch sie, wenn sie nicht gar hierin ihre Begründung findet. Unter diesem Gesichtspunkte will ich sie nun betrachten. Da der Beweis der Krümmung, was das *Princip* anbetrifft, in wesentlicher und nothwendiger Abhängigkeit von den beiden Qualitäten oder Seiten einer dualen Kraft (3324 etc.) steht, und der *experimentelle* Beweis von vielen Vorgängen bei den gegenseitigen Wirkungen von Magneten und magnetischen Körpern und den Erscheinungen an bewegten Leitern (3337 etc.) geliefert wird, so will ich beide nach einander betrachten.

3324. Man kennt kein Beispiel, dass eine Form oder ein Theil einer dualen Kraft anders existiren kann als bei gleichzeitiger Existenz des anderen Theiles von äquivalenter, d. h. gleicher Stärke. Bei der statischen Elektricität sind, unter Annahme von einander geschiedener elektrischer Fluida, beide in gleicher Menge vorhanden (1177), stehen in Beziehung zu einander (1681), oft durch krumme Kraftlinien (1215), und es ist absolut unmöglich, dass die eine Elektricität ohne die andere oder auch nur der geringste Ueberschuss der einen über die andere existire (1174). In der Volta'schen Batterie oder in dem auf andere Weise erzeugten elektrischen Strome, wie durch Thermoelemente oder Induction, ist die Stärke und der duale Charakter des Stromes in jedem Theile des Kreises absolut gleich; und in der isolirten, offenen Volta'schen Batterie, wo die Kraftquelle im Innern ist, kann nicht die geringste Entfaltung der Kräfte oder einer derselben stattfinden, so lange der Kreis nicht geschlossen oder Induction an den Enden ermöglicht ist; denn wenn bei offenem Kreise Induction ausgeschlossen ist, so kann nicht nur nicht ein Strom entstehen, sondern es ist auch an den Batteriepolen kein Vorrath von Elektricität vorhanden, der auch nur den schwächsten Strom hervorbringen könnte. Ebenso bin ich vollkommen überzeugt, dass weder Nordmagnetismus noch Südmagnetismus (worin sie auch sonst bestehen mögen) für sich existiren können, dass beide in genau gleichen Mengen vorhanden und in gegenseitiger Abhängig-

keit von einander stehen müssen; ihre gegenseitige Beziehung und Abhängigkeit von einander muss diejenige aller dualen Kräfte sein.

3325. Betrachten wir einen harten unveränderlichen Magnet im Raume, Fig. 4. Wird demselben ein Stück weiches Eisen I genähert, so wird das Nordende des Magnets in dem ihm zugewandten Ende des Eisens Südmagnetismus und in dem abgewandten Ende Nordmagnetismus erregen. Diesen Zustand behält das Eisen bei, bis es entfernt wird, wenn Südmagnetismus und Nordmagnetismus an den beiden Enden oder Hälften des Magnets während der ganzen Zeit in jeder Hinsicht ungeändert bleibt (3223, 3221). Wollte man nun sagen, dass die von N ausgehende Kraft auf das Eisen wirken und die gleiche und entgegengesetzte Kraft hervorbringen, dann aber bei Entfernung des Eisens dort *oder anderswo* aufhören könne zu wirken, bei abermaliger Annäherung des Eisens oder eines anderen Körpers wiederum wirke und dann wieder zu wirken aufhöre und so fort, so hiesse dies nach meiner Auffassung die *Erhaltung der Kraft**) leugnen. Wir wissen ja, dass im Innern des Magnets keine äquivalente Wirkung stattfindet, um durch irgend welche alternirende Erregung und Unterdrückung der dualen Theile das vermeintliche Auftreten und Verschwinden der Kräfte zu verschiedenen Zeiten zu erklären; denn wenn man eine Spirale dicht um die Mitte des Magnets legt, so entsteht kein Strom, und dies beweist, dass es keine *innere* Verschiebung der Kraft, als Aequivalent für den vermeintlichen Uebergang der äusseren Wirkung in Unthätigkeit giebt.

Fig. 4.



3326. Gesetzt, die Kraft eines solchen Magnets beruhe auf magnetischen N- und S-Fluidis, kann man wohl denken, dass die N-Theilchen zuweilen eine Anziehung auf S-Theilchen ausüben und zuweilen nicht? Käme dies nicht der Annahme einer Unterdrückung, d. i. einer Zerstörung der Kraft gleich, die es doch sicherlich nicht geben kann? Eine solche Annahme würde nur von der übertroffen werden, dass das N-Fluidum zuweilen S-Fluida anziehen und N-Fluida abstossen und zuweilen S-Fluida abstossen und N-Fluida anziehen könne (3311, 3312, 3317).

3327. Was das der Induction ausgesetzte weiche Eisen betrifft (3325), so kehren seine dualen magnetischen Kräfte wieder in ihren früheren von einander abhängigen und einander neutralisirenden Zustand zurück. Denken wir uns aber statt seiner Stahl, in dem der erregte Magnetismus sich bei der Entfernung des inducirenden Magnets nicht neutralisirt oder verschwindet, wovon hängen dann zuletzt die dualen Kräfte ab, *wenn nicht von einander* (3257, 3324)? Wo ist die S-Kraft des Stahls vertheilt, wenn sie aus dem Bereiche ihrer Beziehung zu der N-Kraft des sie erregenden Magnets ent-

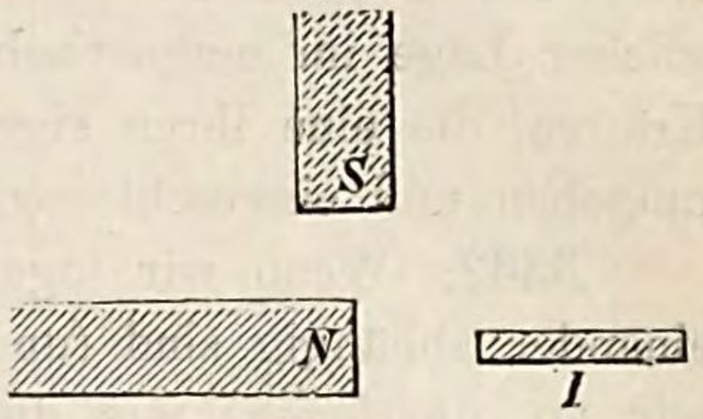
---

*) Eine ähnliche Deutung dieses Principes findet sich unter Anderem in Faraday's Abhandlung *On the Conservation of Force*, Phil. Mag., Ser. 4, 1857, vol. XIII, p. 225—239.

fernt ist? Der Fall kann nicht stattfinden, wenn man nicht annimmt, dass die beiden Agentien eine selbstständige Existenz (3329) haben, oder dass Kraft vernichtet werden könne, und zwar eine dieser Kräfte ohne die andere (3330), oder dass die beiden Polaritäten des Magnets in gegenseitiger Abhängigkeit stehen (3331).

3328. Wenn der N-Pol eines Magnets (Fig. 5) im freien Raume wirkt, so hat seine Kraft ringsumher eine bestimmte Grösse (114); wird demselben ein Stück weiches Eisen I genähert, so häuft sich auf diesem ein grosser Betrag dieser Kraft an, aber der Gesammtbetrag der von dem N-Pol ausgehenden und um ihn vorhandenen Kraft bleibt derselbe. Bringt man den S-Pol eines anderen Magnets hinzu oder benutzt auch den S-Pol desselben Magnets (die Wirkung ist genau dieselbe), so zieht sich ein beträchtlicher Theil der Kraft von dem Eisen zurück und entfällt auf den S-Pol, aber der Betrag der Kraft um den Pol N bleibt auch jetzt derselbe. Alldies lässt sich experimentell beweisen, indem man das weiche Eisen mit einer Spirale umgiebt und Drahtschleifen über den Pol N schiebt (3218, 3223). Man weiss ja in der That ganz genau, wie die Kraft eines Poles über Eisen oder Wismuth durch die Annäherung eines ihm ungleichnamigen Poles auf derselben Seite beeinflusst und geschwächt wird, und es giebt Hunderte von Beispielen, welche zeigen, auf wie mannigfache Weise die Richtung der magnetischen Kraft geändert werden kann, ohne dass sich die *Summe* der Kraft an ihrem Ursprung im geringsten ändert, und jeder dieser Fälle ist ein Beweis von dem antithetischen Zustande und der Unzertrennlichkeit der beiden Kraftformen.

Fig. 5.



3329. Wenn die beiden Agentien unabhängig von einander existiren könnten (3327), wie kommt es, dass nicht jedes einzelne für sich in die Erscheinung tritt, nicht einmal so weit, als es sich etwa von der statischen Elektricität sagen liesse? In keiner der zahllosen Erscheinungen des Magnetismus giebt es etwas wie Ladung von Nordmagnetismus oder Ladung von Südmagnetismus (3341). Beide sind so innig mit einander verknüpft wie die beiden Elektricitäten einer Volta'schen Batterie, gleichviel ob wir die geschlossene, einen Strom gebende, oder die offene, Induction an ihren Enden zeigende Batterie ins Auge fassen. Es ist wahrlich schwer, eine Thatsache zu finden, die auch nur den geringsten Anhalt für die Vorstellung bietet, dass die beiden magnetischen Kräfte selbstständig, getrennt von einander existiren können.

3330. Was die Aufhebung der Kraft anbetrifft (3327), so bin ich der Meinung, dass Kraft, oder gar die eine Form einer dualen Kraft ebenso unmöglich erschaffen, vernichtet oder unterdrückt werden kann als Materie. Alles was den allgemeinen Naturgesetzen nach möglich ist, ist, sie zu ver-

drängen, zu entfernen und sonst zu benutzen, und es kann ebenso wenig der kleinste Bruchtheil einer Kraft als diese im Ganzen unterdrückt werden. Ich darf weiter fragen, ob es, wie es *physikalisch* unmöglich ist, eine Kraft zu vernichten oder zu unterdrücken, dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft zufolge nicht auch *mathematisch* unmöglich ist.

3331. Wenn wir in den Fällen, wo Kräfte verschoben werden (3327), sagen, dass sie bald in der einen, bald in einer anderen Richtung vertheilt sind, aber stets unter Erhaltung ihres vollen und äquivalenten Betrages, wie sollen wir sie uns dann in einem an der Luft oder im *Vacuum* befindlichen cylindrischen oder kugelförmigen Magnet vertheilt denken, um völlig selbstständig zu sein? Oder wie in einer magnetischen Kugel, die sich in solcher Lage im magnetischen Felde befindet, dass sie von magnetischen Kräften, die eine ihren eigenen entgegengesetzte Richtung haben, gänzlich umgeben und eingeschlossen ist (3321, 3238)?

3332. Wenn wir sagen, dass die dualen Kräfte eines Magnets von einander abhängig sind (und dies ist der dritte Fall (3327)), so haben wir zu überlegen, wie dies in Uebereinstimmung mit der gegenseitigen Fernwirkung, sei es magnetischer Fluida, sei es elektrischer Ströme, möglich ist, wenn dieselben nur in geraden Linien wirken. Eine solche Wirkung muss dann durch den Magnetkörper hindurchgehen (3260). Beschränken wir unsere Betrachtung auf magnetische Fluida, so muss die Richtung ihrer Kräfte gegen einander durch den Magnet hindurch, wenn er allein da ist, ebenso sein wie die Richtung gegen in der Nähe befindliches Eisen, in dem sie zu Anhäufungen entgegengesetzter Fluida Veranlassung geben sollen, oder gegen die Fluida an den entgegengesetzten Polen in der Nähe befindlicher gleicher oder stärkerer Magnete, d. h. die beiden Pole des Magnets muss man als Kraftcentra auffassen, die bald durch den Magnetkörper hin in einem bestimmten Sinne auf einander wirken, bald nach aussen auf äussere Pole gerade im entgegengesetzten Sinne. Allein die bei der Rotation des Magnets oder der mit ihm combinirten Metallscheiben entstehenden Ströme (3119, 3163) zeigen, dass die Richtung der Kraft (also ihre Polarität) in den beiden Hälften des Vorganges nicht solchergestalt einander entgegengesetzt, sondern innerhalb des Magnets dieselbe ist wie in der durch den Pol und über denselben hinaus gehenden Verlängerung; sie zeigen ferner, dass die Kraft auch stets dieselbe ist, gleichviel ob der Magnet allein da ist und man somit annimmt, dass die polaren Kräfte durch ihn hierdurch auf einander wirken, oder ob gleichzeitig andere Magnete zugegen sind, so dass die Aeusserung der Kraft des ersteren gänzlich von seinem Innern abgelenkt erscheint. In beiden Fällen ist die Kraft im Innern von derselben Beschaffenheit, Richtung und Grösse (3116).

3333. Wenn man annimmt, dass der polare Zustand eines Magnets durch elektrische Molecularströme bedingt ist, die durch irgend eine innere Ursache in einer zu einander parallelen Lage erhalten werden, so ist es

unmöglich, dass diese durch den Magnet hin eine Rückwirkung auf einander in geraden Linien ausüben können derart, dass sie die Nord- und Südpolarität in gegenseitige Abhängigkeit bringen, wie sie es in Bezug auf äussere Pole thun sollen, ohne dass die Ströme selbst *verschoben und gedreht* werden, bis der ganze Magnet neutralisirt ist und so in den unerregten Zustand zurückkehrt, gerade so wie es beim weichen Eisen der Fall ist. Eine derartige Zustandsänderung in weichem Eisen oder Stahl giebt sich durch Inductionsströme in einer dieselben umgebenden Spirale eben als Folge dieser Aenderung kund, und eine Drahtschleife (3133, 3217) lässt den Unterschied zwischen der polaren Aussenwirkung des Eisens oder Magnets und dem Abfall ihres Zustandes erkennen. Derartige Wirkungen treten bei einem harten Magnet, wenn er abwechselnd sich selbst überlassen und zu anderen Magneten in Beziehung gesetzt wird, nicht ein. Der Magnetkörper und die durch ihn gehenden Kräfte erweisen sich, wie die Untersuchung mittelst einer Drahtschleife (3223) oder seiner eigenen Bewegung oder der Bewegung von mit ihm combinirten Scheiben und Drähten (3116 etc.) ergiebt, ungeändert. Seine Kraft bleibt in Grösse und allgemeiner Richtung sich immer gleich.

3334. Wie bekannt, zeigt ein stählerner Ringmagnet (3283) keine Wirkung nach aussen, weist aber, wenn er durchbrochen wird, starke Pole auf. Die Erscheinungen machen es, wie ich glaube, zur Gewissheit, dass die an den Bruchstellen sich zeigenden Nord- und Südzustände, wenn die Bruchstücke bei einander sind, sich nicht rückwärts durch den Magnet gegenseitig bedingen können. Es giebt keinen zureichenden Grund für eine derartige Annahme. Ferner ergiebt sich dasselbe aus der gegenseitigen Zerstörung stark magnetisirter Linearmagnete, wie Stahlnadeln, wenn daraus ein dickes, kurzes Bündel gebildet wird; denn wenn, während sie allein da sind, die polaren Kräfte nicht äussere sondern in jedem einzelnen Magnet auf einander beschränkt sind, so können sie sich mit derselben Freiheit ebenso vertheilen, wenn die Elementarmagnete mit einander combinirt sind, als wenn sie für sich bestehen, und dann bleibt kein zureichender Grund übrig zu vermuthen, dass die Wirkung auf einander die eines jeden auf sich selbst übertrifft.

3335. Wenn man die anfänglich äussere Wirkung eines Magnets auf das Innere oder auf eine Wirkung durch ihn selbst beschränkt, so muss man nicht meinen, dass die hierbei eintretende Kraftänderung klein und unmerklich sei. Sie muss vielmehr so gross sein als der gesammte Kraftbetrag, den der Magnet unter den günstigsten Umständen aufweisen kann, und wir haben Mittel genug, um dies, beispielsweise mit Hülfe bewegter Drähte und Scheiben, in jedem Falle zu beweisen, bei dem ein Durchgang der Kraft durch den Magnet oder ein Heraustreten aus demselben stattfindet. In dieser Beziehung besteht also keine Schwierigkeit und es bleiben für mich nur zwei mögliche Voraussetzungen übrig: entweder die Nordpolarkraft, wenn sie von der äusseren compensirenden Südpolarkraft entfernt wird,

äussert sich nicht anders als die magnetische Kraft überhaupt es sonst thut; oder sie ist nach aussen gerichtet und mit der Südpolarkraft desselben Magnets verknüpft und bleibt so in ihrem natürlichen, äquivalenten und wesentlichen Zustande aufrecht erhalten und angeordnet. Wenn sie in eine neue Kraftform umgewandelt wird, was ist diese? Wo befindet sie sich? Durch welche Aeusserungen giebt sie sich zu erkennen? Welches sind die Beweise ihres Daseins? Auf diese Fragen giebt es keine Antwort. Wenn aber die Nordpolarkraft nach aussen gegen den entgegengesetzten S-Pol des Magnets gerichtet ist, dann kommen alle Consequenzen und Begründungen meiner Hypothesen über die magnetische Kraft und deren Polarität zur Geltung und lassen sich, wie ich wohl glaube, sämmtliche magnetische Erscheinungen, abgesehen von der Auffassung über die Natur der magnetischen Kräfte selbst, einheitlich und befriedigend erklären.

3336. Denn wenn die dualen Kräfte der Pole eines Magnets im freien Raume zu einander in Beziehung und in Abhängigkeit von einander stehen, aber nicht durch Vermittelung des Magnets selbst (3331), so muss es durch den umgebenden Raum geschehen. Somit muss der Raum eine reelle magnetische Beziehung zu der ihn durchsetzenden Kraft haben, gerade so wie zu einem von einem leuchtenden zu einem beleuchteten Körper gehenden Lichtstrahl. Alsdann kann die Wirkung der beiden Kräfte auf einander nicht in geraden Linien erfolgen, die, wenn sie existirten, nothwendig durch den Magnet gehen müssen, sondern in krummen Linien, da es unmöglich ist, dass die Relation der Pole zu einander durch den umgebenden Raum anders als durch krumme Linien aufrecht erhalten werde (3297). Geschieht es aber durch krumme Linien, so kann ich mir darunter nichts Anderes als physische Kraftlinien denken, Linien, die geeignet sind, die Kraft unter Erhaltung ihrer nothwendigen dualen Beziehung und in Uebereinstimmung mit der Richtung, die, meiner Meinung nach, ganz eigentlich *Polarität* heissen sollte, fortzupflanzen. Und es scheint mir ferner, dass, wenn wir einmal dem Vacuum eine magnetische Relation zuschreiben, alsdann sämmtliche Erscheinungen an paramagnetischen und diamagnetischen Körpern, die Erscheinungen der differentiellen und individuellen Polarität, das Verhalten von Lösungen, Nadeln, Krystallen und bewegten Leitern, sich uns in einer einfachen gegenseitigen Relation darbieten, in vollkommener Harmonie mit einander sind, ohne mit einer Thatsache oder Hypothese im Widerspruch zu stehen.

3337. Ich möchte diese Abhandlung nicht durch eine Wiederholung der Betrachtungen und Schlussfolgerungen, die ich schon bei früheren Anlässen vorgebracht habe, in die Länge ziehen und will daher nur ganz kurz daran erinnern, dass es meiner Ansicht nach solche Kraftlinien in dem einen Magnet umgebenden Raume giebt, dass durch sie die gegenseitige Abhängigkeit der Dualitäten, die bei dem für sich bestehenden Magnet wesentlich ist, unterhalten wird, und dass paramagnetische oder diamagnetische Erscheinungen an Körpern in diesem Raume auftreten, je nachdem

sie dieses Vermögen des Raumes an und für sich begünstigen oder ihm entgegenwirken. Dass diese Körper oder *Media*, wie man sie nennen kann, eine dem Raume analoge magnetische Relation haben, lässt sich durch zahlreiche Versuche leicht erweisen; da sie aber überdies zu einander in einer von ihrem relativen elektrischen Leitungsvermögen abhängigen Beziehung stehen, so glaube ich kurze Zeit mit Nutzen bei der Betrachtung verweilen zu können, wie weit die hieraus sich ergebenden Resultate über den wahrscheinlichen Zustand des Raumes, in dem dieselben nicht sind, Aufschluss geben. Denken wir uns einen Magnetpol N, Fig. 6, gegenüber einem gleich starken Magnetpol S, so dass ihre Kräfte sich gegenseitig unterhalten, und den Raum *aaa* zwischen ihnen entweder leer oder mit Stickstoff oder einem anderen Glase vom magnetischen Nullpunkte (2770 etc.) erfüllt, so kann man jede Aenderung der Richtung oder Grösse der von N auf S, oder umgekehrt, ausgeübten Kraft leicht mittelst Spiralen u. s. w erkennen. Denken wir uns nun, das Medium *aaa* bestehe gänzlich aus Kupfer oder Quecksilber, so bleiben die Kräfte ungestört; dasselbe wäre der Fall, wenn nur ein Theil desselben von Quecksilber oder Kupfer und der andere von einem Vacuum oder Glas gebildet wäre, und die Trennungslinie zwischen diesen Theilen entweder von S nach N oder längs *aaa* oder in einer anderen Richtung ginge; jedes dieser Media wirkt ganz so wie der Raum für sich oder nahezu wie dieser, so dass wir schwerlich einen Unterschied wahrnehmen können. Denken wir uns ferner, das Metall, entweder in Form eines fein zertheilten Streifens *aaa* oder einer massiven Kugel (von Kupfer) C, Fig. 7, rotire rasch um die Linie NS, so bleibt es doch genau so wie das Vacuum oder ein indifferentes Gas oder Glas, und wir kennen bisher keine Wirkung, durch die wir das materielle Medium von dem leeren Raume unterscheiden könnten. Denken wir uns aber den Streifen von Metalltheilchen in eine zusammenhängende Scheibe übergehen, so wird diese, wie wir wissen, von einer Menge elektrischer Ströme erfüllt. Oder legen wir an einem axialen und einem äquatorialen Punkte der Kupferkugel C Galvanometerdrähte an, so giebt diese (indem sich nun Ströme ausbilden können) eine Wirkung und entsendet reichlich Ströme durch die Zuleitungsdrähte. Wird die Kupferkugel C um eine zur Linie SN senkrechte Axe in schnelle Rotation versetzt, so ist sie, magnetisch genommen, ein so starkes und wirkungsvolles Medium, dass die beiden Pole NS, wenn sie frei beweglich sind, sich in derselben Richtung wie die benachbarten Theile der Kugel bewegen und entgegen ihrer gegenseitigen Anziehungskraft, welche sie mächtig zu einander hin zu drängen strebt, sich von einander entfernen. Wie lässt es sich nun denken, dass das Kupfer oder Quecksilber in Bewegung dieses Vermögen habe, wenn es im ruhenden Zustande gar keine Beziehung zu der

Fig. 6.

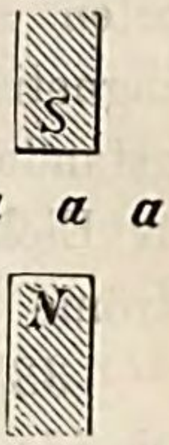


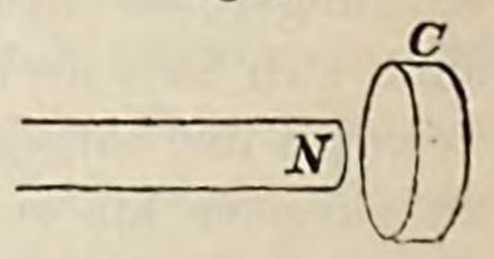
Fig. 7.

magnetischen Kraft hätte? Oder wie sollte es im massiven Zustande ein solches Vermögen haben, wenn es im fein vertheilten Zustande selbst in Bewegung keine Beziehung zur magnetischen Kraft hätte? Das blosse Hinzutreten der Bewegung könnte nichts bewirken, wenn nicht vorher eine statische Abhängigkeit zwischen dem Magnet und dem Metall vorhanden wäre. Wohl wissen wir, dass die Entstehung oder das Bestreben zur Entstehung von elektrischen Strömen mit den Bewegungsvorgängen verknüpft ist, allein dies ist nur ein weiterer Beweis, dass die Metalle vorher eine Beziehung zu den magnetischen Kräften *haben*, und da diese elektrischen Ströme in den Körpern, selbst in wässerigen Lösungen unter gleichen Umständen auftreten, so haben wir allen Grund anzunehmen, dass sämmtliche Körper im magnetischen Felde dieselbe statische Relation wie das Kupfer im Ruhezustande haben und dass es nur an ihrem schlechten Leitungsvermögen für Elektricität liegt, wenn nicht in allen bei der Bewegung elektrische Ströme auftreten.

3338. Diese bei der Bewegung auftretenden Wirkungen sind bekanntlich identisch mit denen des bewegten Drahtes (36, 55) oder der Voltainduction (6 etc.) und ihre Intensität und ihre Macht erkennt man sehr deutlich in den Leistungen des magnetoelektrischen Apparates von Elkington und der Inductionsspirale von Ruhmkorff. Bei ihrer Erregung kommt die *Zeit* in Betracht und Henry hat uns gewissermassen gezeigt, dass die magnetische Wirkung quer zu stromdurchflossenen Spiralen zeitweilig aufgehoben oder abgelenkt ist (1730). Diese Wirkungen sind unter allen Umständen einfach, d. h. eine Kraftlinie von gegebener Polarrichtung erregt oder sucht in einem quer zu ihr sich bewegenden Körper, gleichviel ob er paramagnetisch oder indifferent oder diamagnetisch ist (3146, 3162), einen Strom in der *gleichen* Richtung zu erregen, der nach meiner Auffassung von einem vorausgegangenen gleichen *statischen* Zustande abhängig sein muss. Man kennt für diese Vorgänge nichts, was mit den vermeintlichen entgegengesetzten polaren Zuständen paramagnetischer und diamagnetischer Körper auch nur die geringste Analogie darböte, aber man hat doch, soviel ich weiss, nie behauptet oder angenommen, dass die beiden Wirkungen, die magnetische und magnetoelektrische, in ihrer wesentlichen Natur zu sondern, oder dass sie nicht in sich zusammenhängende, verwandte und, wie ich hinzufügen muss, reciproke Wirkungen Einer Kraft seien.

3339. Dass das Kupfer u. s. w. im magnetischen Felde wirksame magnetische Media sind, lässt sich auch folgendermassen darthun. Ist in Fig. 8 N ein Magnetpol und C eine dicke Scheibe oder ein kurzer Cylinder von Kupfer, so entstehen in letzterem auch bei der schnellsten Rotation um seine Axe keine Ströme, während doch die magnetische Wirkung von N auf andere Magnete dieselbe bleibt, wie wenn das Metall ruhte oder überhaupt nicht da wäre. Zieht

Fig. 8.



man N von C fort, so entstehen in C Ströme, trotzdem es sich nicht bewegt; auch bleibt die Wirkung von N auf andere Magnete, soviel wir wissen, ungeändert, doch findet nun eine schwache Anziehung zwischen C und dem Pol N statt. Wird N C genähert, so sind die Ströme und Wirkungen umgekehrt. Erfolgt die Annäherung oder das Entfernen von N rascher, so sind die Ströme und hiermit der temporäre magnetische Zustand stärker. Ein cylindrischer Elektromagnet zeigt diese Effecte sehr deutlich. Das Kupfer blieb also die ganze Zeit hindurch in Ruhe, es ist ihm von aussen keine Bewegung ertheilt worden, sondern es erlitt durch das Annähern und Zurückweichen des Poles eine Einwirkung, wodurch es in einen anderen Zustand überging, welche Zustände stationär bleiben, so lange die Pole in Ruhe bleiben, und es weist somit alle Merkmale eines der magnetischen Kraft unterworfenen Mediums auf. Man hat es in der Hand, die Ströme in dem Kupfer in die Erscheinung treten zu lassen, oder auch es zu verhindern, allein ob man das eine oder das andere thut, der Zustand, in den das Kupfer gelangt, bleibt derselbe. Verhindert man das Auftreten der Ströme, wenn der Magnet genähert wird, und gestattet es, wenn er entfernt wird, dann tritt eben der Strom auf, welcher von dem letzten Vorgange bedingt ist, was sich mittelst eines Magnets und einer Spirale leicht zeigen lässt, und dies scheint ganz deutlich zu beweisen, dass das Kupfer unter dem constanten Einfluss des Magnets einen permanenten statischen magnetischen Zustand hat und somit ein magnetisches Medium ist, durch welches Kraftlinien hindurchgehen. Bestände C, statt aus Kupfer, aus Wismuth, so würden ebenfalls Ströme, zwar von weit geringerer Stärke, aber von derselben Richtung entstehen; ersteres ist jedoch, wie man weiss, nur eine Folge des geringen Leitungsvermögens.

3340. Ohne Zweifel enthalten diese Erscheinungen Vieles, von dessen Natur wir wenig oder gar keine Kenntniss haben; wahrscheinlich werden Mateucci's Resultate zu Aufschlüssen und Entdeckungen von grosser Wichtigkeit führen. Er findet[1]), dass fein vertheiltes Kupfer beharrlich Erscheinungen aufweist, welche zeigen, dass es mit Recht für einen diamagnetischen Körper angesehen wird, dass es aber gänzlich oder nahezu zu einer Masse vereinigt, seinen Diamagnetismus verliert. Bisher ist nichts Derartiges bekannt, dass der blosse Unterschied der Cohäsion oder Vertheilung die diamagnetische Beschaffenheit solchermassen zu beeinflussen vermöchte. Er findet auch in anderer Hinsicht, wie beim Arago'schen Rotationsmagnetismus, dass das Verhalten materieller Partikel derart ist, dass es sich aus dem bekannten Verhalten derselben als Masse nicht vorausssehen lässt, und es ist daher zu hoffen, dass wir aus einer Erweiterung und Aufklärung dieser Ergebnisse ein besseres Urtheil über die wahre physikalische Wirkung des Magnetismus gewinnen werden als wir jetzt haben.

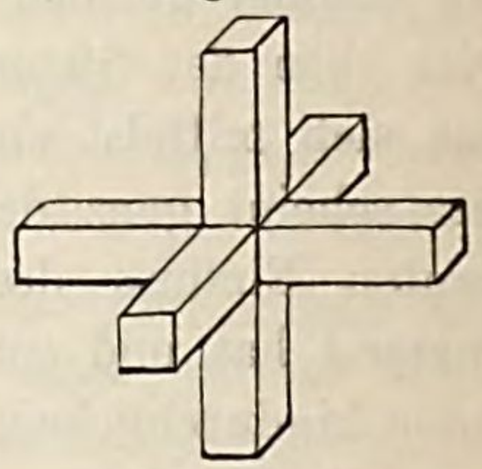
---

[1]) Cours spécial sur l'induction etc., 1854, pp. 165, 269.

Orte ohne magnetische Wirkung.

3341. Dass die Relation der beiden magnetischen Dualitäten zu und ihre Abhängigkeit von einander wesentlich ist, erkennt man, glaube ich, in sehr schlagender Weise, wenn man versucht, Nordmagnetismus oder Südmagnetismus dadurch zu isoliren, dass man den einen oder anderen auf Einen Raum oder Einen Körper concentrirt und nun aus Spannungs- oder andersartigen Erscheinungen zu ermitteln sucht, ob derselbe mit Polarität behaftet ist. Ein Weicheisenstab von 1 Quadratzoll Querschnitt und 3 bis 4 Zoll Länge mit abgerundeten Ecken war von zweiunddreissig Windungen übersponnenen Kupferdrahts von 0,05 Zoll Dicke umgeben, der zwar hauptsächlich den mittleren Theil des Stabes einnahm, aber nöthigenfalls liess sich der Stab dem einen oder anderen Ende näher schieben. Sandte man einen elektrischen Strom durch den Draht, so wurde der Stab magnetisch und die Stärke des N- oder S-Endes liess sich durch Verschiebung des Eisens in der Spirale reguliren. Aus sechs solcher Stäbe liess sich leicht ein würfelförmiger Raum oder eine Kammer derart herstellen, dass die gleichnamigen Pole an einander lagen, Fig. 9, und in diesem Raume arbeitete ich mit allen mir zu Gebote stehenden Mitteln. Zutritt zu demselben liess sich leicht dadurch erhalten, dass man aus den Winkeln, welche von den aneinander gelegten Enden gebildet wurden, etwas herausnahm, oder dass man die Elektromagnete ein wenig von einander fortzog, so dass ein Lichtstrahl eintreten oder quer hindurchgehen konnte. Im Innern konnten Magnetnadeln oder Wismuthkrystalle aufgehängt werden, eine ringförmige Spirale eingeführt und in Umdrehung versetzt und jede Bewegung von aussen beobachtet werden.

Fig. 9.



3342. Eine in der Mitte des Raumes aufgehängte kleine Magnetnadel zeigte keinerlei magnetische Einwirkung; in der Nähe der offenen Seiten und Winkel vollführte sie Schwingungen, die jedoch im Vergleich zu den kräftigen Wirkungen auf die ausserhalb der Kammer, selbst in einer Entfernung von vielen Zollen befindliche Nadel verschwindend waren. Ein Wismuthkrystall verhielt sich völlig indifferent. An einem im Innern der Kammer an einem Kupferdraht aufgehängten Stück weichen Eisens liess sich weder mit Hülfe der kleinen Nadel noch durch andere Mittel eine Spur einer magnetischen Kraft erkennen. Eisenfeilspäne, die auf einer Karte in der Kammer lagen, wurden nicht in der Mitte, sondern bloss in der Nähe der theilweise offenen Winkel afficirt. Eine in Rotation versetzte ringförmige Spirale von vielen Windungen, deren Enden an gegenüberliegenden Ecken heraustraten und mit einem sehr empfindlichen Galvanometer verbunden

waren, zeigte keine Spur einer Inductionswirkung. Zahlreiche andere Versuche wurden mit durchaus negativem Erfolge gemacht. Ebenso vergebens waren die (ohnehin hoffnungslosen) Versuche, zu ermitteln, ob irgend welche elektrochemischen Vorgänge daselbst erregt würden. Alle Prüfungsmittel, die ich irgend zu ersinnen vermochte, nicht bloss solche von polarem Charakter, sondern aller Art wandte ich an, aber stets mit negativem Erfolge.

3343. Ich habe freilich nicht erwartet, dass sich an dieser Stelle eine polare Wirkung von dualem Charakter äussern könnte; allein wenn die Polaritäten ohne gegenseitige Beziehung zu einander existiren könnten, so durften wir in einer solchen Kammer, die von sehr intensiver magnetischer Kraft umgeben ist, und wo die Wirkung sich auf eine bestimmte Stelle oder Substanz concentriren kann, sicher einen tonischen oder statischen Zustand erwarten. Dies ist jedoch nicht der Fall, vielmehr stellt die Kammer unter diesen Umständen einen von magnetischer Wirkung und magnetischem Einfluss freien Raum dar. Derselbe ist das vollkommene Analogon des Innenraumes eines mit Elektricität geladenen metallischen Gefässes oder einer solchen Kugel[1]) (1174). Hier ist im Innern keine Elektricität vorhanden, weil die nothwendige Verknüpfung und Abhängigkeit der elektrischen Dualitäten, die wesentlich zu ihrer Natur gehört, nicht bestehen kann. Ebenso zeigt sich in der würfelförmigen Kammer kein Anzeichen einer magnetischen Kraft, weil die Dualitäten nicht beide gleichzeitig vorhanden sind und die eine nicht ohne die andere gegenwärtig sein kann.

3344. Man kann diese sehr lehrreichen neutralen magnetischen Orte auf mannigfachem Wege in mehr oder weniger vollkommener Weise untersuchen. Eine Höhlung am Ende eines Elektromagnetkerns oder permanenten Magnets wird ähnliche Erscheinungen aufweisen, ja in mancher Hinsicht sogar noch vollkommener. Denn wenn sich am Ende auch an dem Boden der Höhlung eine Spur von Kraft zeigt, so wird man doch aus dem Gesammtbetrage im Vergleich zu dem Betrage der Kraft an dem Ende des Magnets erkennen, wie vollständig die Analogie zwischen diesem Raume und dem Innern eines mit positiver oder negativer Elektricität geladenen metallischen Gefässes ist. Ein Cylinder aus weichem Eisen von 9 Zoll Länge und 1,6 Zoll Durchmesser, in dessen eines Ende eine 1 Zoll tiefe concentrische Höhlung von 0,9 Zoll Durchmesser gebohrt war, befand sich in einer kräftig wirkenden Spirale aus dickem Kupferdraht, die mit einer Grove'schen Batterie von zehn Plattenpaaren verbunden wurde. Eine dem so ausgehöhlten Magnet ähnliche Vorrichtung, die die Erscheinungen, welche ich zu beschreiben im Begriffe bin, zeigt, erhält man, wenn man einen passen-

---

[1]) Phil. Mag., Oct. 1846, vol. XXIX, p. 257, Note.

den Eisenring gegen das Ende eines Elektromagnets oder eines gewöhnlichen Magnets stellt. Bringt man ein nicht mehr als 0,3 Zoll langes oder dickes, an einem Kupferdraht befestigtes Stückchen weichen Eisens in die Nähe des äusseren Randes des erregten Magnetpoles, so wird es kräftig angezogen, an der Basis der Höhlung erfährt es jedoch keine derartige Wirkung, sondern verhält sich ganz indifferent. Auch an den Seitenwänden der Höhlung erfährt es nur in der Nähe der Mündung eine Einwirkung. Legt man den Magnet horizontal und führt ein Kartenstückchen, auf das blanke Eisenfeilspäne gestreut sind, so in die Höhlung ein, dass es einen horizontalen Schnitt derselben repräsentirt, so wird man bei momentaner Erregung des Magnets finden, dass nur die in der Nähe der Mündung befindlichen Eisenfeilspäne in eine neue Lage (um die äusseren Winkel des Poles) gedrängt worden, während vier Fünftel derselben auf dem Kartenstück im Innern der Höhlung unverändert ruhig liegen geblieben sind. Wird die Höhlung mit Eisenfeilspänen gefüllt, mit einer Karte verschlossen und vertical mit der Mündung nach unten gestellt, hierauf der Magnet erregt und die Karte fortgenommen, so fallen die Eisenfeilspäne heraus und werden dabei derart abgefangen, dass sie um die äusseren Winkel des Poles feine Fransen bilden, aber nicht ein einziges Eisenfeilspänchen bleibt an der Basis der Höhlung oder sonstwo im Innern derselben, ausgenommen in der Nähe des Aussenrandes. Wird jedoch ein Eisenstück, das lang genug ist, um aus der Höhlung hervorzuragen, etwa ein 2 bis 4 Zoll langer Nagel mit der *Basis* der Höhlung in Berührung gesetzt, so wird er kräftig angezogen und festgehalten und vermag, auch wenn man ihn durch eine über die Mündung gelegte, mit einem Loch versehene Karte hindert, die Höhlung an einer anderen Stelle zu berühren, ein Gewicht von mehreren Unzen zu tragen.

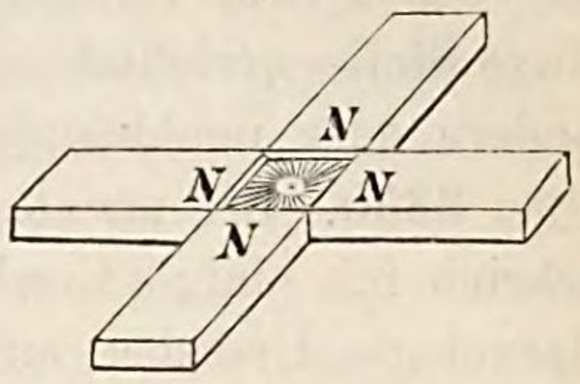
3345. Wird eine kleine, etwa 0,1 Zoll lange Magnetnadel diesem Magnet genähert, so ist die auf sie ausgeübte Kraft so stark, dass sie sich kaum regieren lässt; sowie sie aber in die Höhlung eintritt, nimmt die Kraft rasch ab, und an der Basis wird sie kaum oder gar nicht beeinflusst.

3346. Aehnlich sind die Erscheinungen, wenn man anstatt des beschriebenen Eisenkernes mit seiner Höhlung eine Eisenröhre von hinlänglicher Wanddicke (etwa einen Flintenlauf) anwendet. Führt man die Magnetnadel hier ein, so verschwindet die Wirkung auf sie, wenn sie 1,5 Zoll tief in das Innere gelangt ist. Füllt man die Röhre mehr oder weniger mit Eisenfeilspänen, magnetisirt sie und hält sie vertical, so fallen erstere sämmtlich heraus und herab mit Ausnahme derjenigen, welche an dem Aussenrande festgehalten werden. Steckt man aber einen langen Nagel oder Eisenstab hinein, so dass er zum Theil aus der Röhre herausragt, so wird er an dem Punkte im Innern, wo er die Substanz der Röhre berührt, kräftig angezogen.

3347. Es bietet sehr grosses Interesse, ähnliche Wirkungen durch

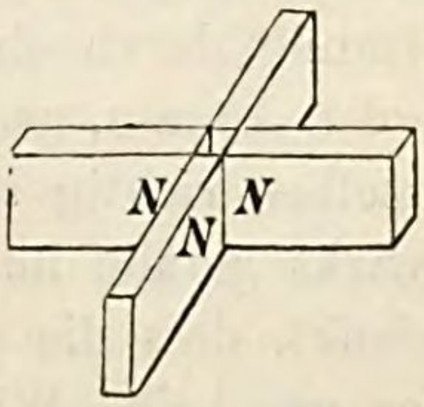
eine Gruppirung gewöhnlicher Magnete zu erzielen. Ich habe vier sehr harte Stahlmagnete von je 6 Zoll Länge, 1 Zoll Breite und nahezu 0,4 Zoll Dicke. Stellt man sie mit ihren gleichnamigen Polen wie in Fig. 10 zusammen, so bilden sie eine flache quadratische Kammer, die mit ihnen in derselben Ebene liegt. Bestreut man ein auf einem 0,2 Zoll hohen Klotz liegendes Stück steifen Papiers von der Grösse der Kammer mit Eisenfeilspänen und nähert hierauf die Magnete gleichmässig, so dass die quadratische Kammer entsteht, so ordnen sich, wenn man das Papier ein wenig klopft, die Eisenfeilspäne in Linien von den Seiten der Kammer nach dem Mittelpunkte hin. Die Eisenfeilspäne geben die Richtung der Kraftlinien in dieser Mittenebene an und zeigen zugleich, dass dieselben in der Mitte der Pole stärker zusammengedrängt sind als an den inneren Ecken. Nimmt man dann die Eisenfeilspäne fort und verfolgt den Lauf der Kraftlinien mittelst einer kleinen Magnetnadel, so findet man, dass die Linien sich von dieser Ebene erheben, nach unten senken und dann umkehren und in dem freien Raum über und zwischen dem System sich gegen die S-Pole der Magnete hinwenden. Man begreift den Vorgang sofort, wenn man die zu jedem Magnet gehörenden Kraftröhren (3271) und die Art, wie sie combinirt sind, wenn die vier gleichnamigen Pole zusammenstossen, in Betracht zieht.

Fig 10.



3348. Sind die Magnete aufwärts gekehrt, so bilden sie eine verticale Kammer von 1 Zoll Höhe und nur 0,4 Zoll Breite; die Erscheinungen sind dann dieselben wie die eben beschriebenen, jedoch nur in der Nähe des Einganges zur Kammer; sowie die kleine Nadel in dem inneren Raume vorwärtsschreitet, wird die Einwirkung der Magnete schwächer und schwächer und in der Mitte der Kammer zeigt sich kaum noch eine Spur davon. Diese Stelle ist wie die durch sechs Pole gebildete (3341) geschlossene Kammer oder wie die Basis einer in das Ende eines Magnets gebohrte Höhlung eine neutrale, also ein Ort ohne magnetische Wirkung.

Fig. 11.

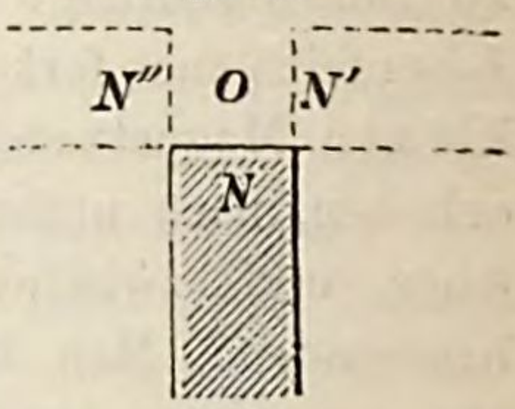


3349. Der allmähliche Uebergang von einem spitzen konischen Pol zu einer geschlossenen Kammer ist den beschriebenen Erscheinungen zufolge ebenso deutlich wie der Zusammenhang der letzteren mit denen, welche sich an den unter gewöhnlichen Umständen zahlreich auftretenden neutralen Stellen zeigen (3234, Fig. 6, 10, 11, 15). Man stösst nicht auf die geringste Schwierigkeit, nicht auf den geringsten Zweifel, wenn man diese Ergebnisse an der Hand der repräsentativen Kraftlinien betrachtet; alle Abweichungen in der Stärke und Richtung der magnetischen Kraft erscheinen auf einmal aufgeklärt. Worauf es jedoch hauptsächlich ankommt,

ist, dass man erkenne, wie sie alle zusammenwirken, indem man die Nothwendigkeit der vollständigen und äquivalenten dualen Beziehung der magnetischen Kräfte nachweist. Wenn diese irgend geschwächt oder gestört ist, so nimmt die Kraft im Ganzen in demselben Maasse ab, bis sie schliesslich an einem gegebenen Orte völlig verschwindet, wiewohl sie mit grosser Intensität gegen diese Stelle gerichtet sein müsste, wenn eins der dualen Elemente ohne das andere oder unabhängig von demselben existiren könnte.

3350. Bei meinen früheren Arbeiten über Wismuth und Magnete beschrieb ich einige Erscheinungen (2298, 2487, 2491), welche sich auf die dargelegte Ursache, auf das Vorhandensein magnetisch mehr oder weniger vollständig neutraler Stellen zurückführen lassen. Wenn einer vertical oder an einer Torsionswaage empfindlich aufgehängten Kugel oder einem Würfel von Wismuth ein N-Pol genähert wird, Fig. 12, so wird das Wismuth abgestossen und die Aufhängung abgelenkt; wird ein zweiter Pol N' nahe gebracht, wie in der Figur, so wird die Abstossung des Wismuths durch den Pol N schwächer sein als vorher, es wird sich ihm wieder nähern und es wird den Anschein haben, als ob auch N' es anzöge, denn das Wismuth wird das Bestreben zeigen, sich in den von N und N' gebildeten Winkel einzustellen. Wird ein dritter Pol N'' auf der anderen Seite aufgestellt, so wird es den Anschein haben, als ob das Wismuth von ihm und von dem ersten Pol angezogen würde, und wird nahezu in die Lage zurückkehren, welche es hätte, wenn die Magnete überhaupt nicht vorhanden wären. Ich hatte mir einstmals gedacht, dass die Annäherung des Wismuths an N dadurch bewirkt sein könnte, dass der zweite Nordpol N' ihm eine magnetische Structur ertheilt und dass diese Wirkung durch einen gleichen Pol N'' auf der anderen Seite aufgehoben werden könnte, wodurch die Annäherung des Wismuths (falls die Ursache derselben richtig angegeben ist) verhindert würde. Allein ein solcher Pol bewirkt gerade im Gegentheil eine *stärkere* Annäherung, und wenn man bedenkt, dass die drei Pole einen Hohlraum bilden, in dem eine schwächere oder gar keine Wirkung stattfindet (3341, 3347), so sieht man auch sofort ein, dass es so sein muss. Alle Bewegungen des Wismuths sind die Folge seines Bestrebens, von Orten stärkerer zu Orten schwächerer magnetischer Wirkung zu gehen (2418), und in dem vorliegenden Falle zeigen sie *diesen* Ort geschwächter Wirkung an, der sich durch eine geeignetere Combination in einen Ort ohne magnetische Wirkung umwandeln liesse.

Fig. 12.



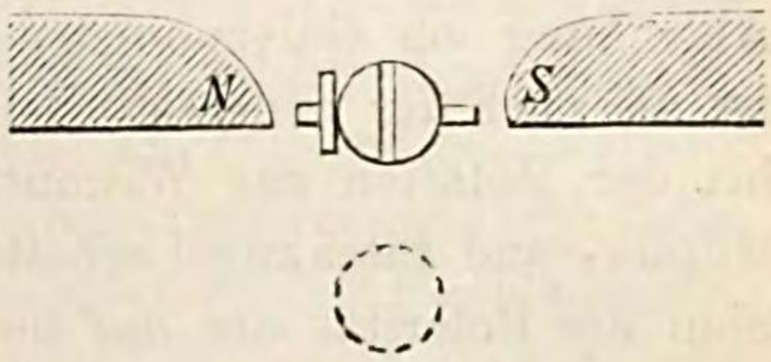
Der bewegte Leiter.

3351. Ich möchte weitere Bemerkungen (3336, 3337) machen über den Werth des bewegten Leiters als eines Mittels zur Erforschung des

Magnetismus. Hinsichtlich der Principien, des Wirkungsbereiches und der Zuverlässigkeit seiner Angaben darf ich mich mit dem Hinweis auf frühere Abhandlungen (3156, 3172, 3176, 3270) begnügen. An dieser Stelle will ich ihn zu einem directen Versuch über die vermeintlich entgegengesetzten Polaritäten des Eisens und Wismuths (3309) anwenden.

3352. Ich nahm vier Kugeln von Kupfer, Wismuth, weichem Eisen und hartem Stahl von 0,8 Zoll Durchmesser, jede versehen mit einer Kupferaxe, die eine kleine hölzerne Rolle trug, so dass sie innerhalb des sie tragenden Rahmens mittelst einer Schnur ohne Ende in mehr oder weniger rasche Umdrehung versetzt werden konnten. Auch war auf jede am Aequator ein dünner Kupferring dicht aufgetrieben, der ausgehöhlt war, um einen gegen diese Stelle gepressten Galvanometerdraht während der Rotation der Kugel festzuhalten, während der andere Draht an die Kupferaxe angelegt war. Diese Kugeln mit ihren Rahmen konnten eine nach der andern der magnetischen Kraft des Feldes eines kräftigen Logeman'schen permanenten Magnets unterworfen (Fig. 13) und in Umdrehung versetzt, die hierbei entstehenden Inductionsströme durch das Galvanometer geleitet werden. Ich bediente mich zweier solcher Instrumente; das eine von dünnem Draht war ein Ruhmkorff'sches (2651), das andere bestand aus nur vier Windungen dicken Drahtes (3178). Das letztere war das bessere, doch lieferten beide gute Angaben. Bei den Versuchen war die Lage aller einzelnen Theile stets dieselbe, und daher ist es nur nöthig, eine Erscheinung als Norm zu beschreiben und für die anderen auf diese zu verweisen. Als eine solche Norm wollen wir den Strom nehmen, der sich zeigt, wenn sich die *Kupfer*kugel im magnetischen Felde befindet. Seine Richtung war derart, dass, wenn der obere Theil der Kugel sich nach West hin drehte, das Südende der Galvanometernadel ebenfalls nach West abgelenkt wurde. Acht bis zehn Umdrehungen der Kugel brachten am Galvanometer einen Ausschlag von 80^0 bis 90^0 hervor.

Fig. 13.



3353. Die Kugel aus *weichem Eisen* war von so guter Beschaffenheit, dass sie nur sehr schwache Spuren von Magnetismus zurückbehielt, wenn sie aus dem magnetischen Felde entfernt wurde. Bei ihrer Rotation entstand ein elektrischer Strom von derselben Richtung, wie ihn die Standard- oder Kupferkugel lieferte. Man erkennt leicht, dass die Kugel, wenn sie parallel mit sich selbst in einer zur magnetischen Axe senkrechten Richtung von dem Magnet fortbewegt wird (etwa in die durch den punktirten Kreis angedeutete Lage (3352, Fig. 13)), durch Orte schwächerer magnetischer Wirkung hindurchgeht. Bei derartigen Ortsänderungen war der Inductionsstrom je nach der Entfernung schwächer oder stärker, aber stets von derselben Richtung. Angenommen, das rotirende Metall gebe die wahre Pola-

rität oder Richtung der magnetischen Kraft an (3077), so zeigen die Resultate, dass die Polarität der diese Ströme inducirenden Kraft, welche die magnetische Kraft des wirkenden Magnets ist, im Kupfer dieselbe ist wie im Eisen. Andere Fälle der Entstehung von Strömen bei der Rotation von Eisen finden sich in den Experim. Untersuch. (3162).

3354. Liess man die *Wismuth*kugel sich in dem magnetischen Felde rasch drehen, während der Galvanometerdraht gegen den Kupferring (3352) presste, so wurde dieser durch die Reibung warm, und es trat ein dauernder Thermostrom auf. Den Einfluss desselben, von dem bereits bei einer früheren Gelegenheit die Rede war (3168), kann man leicht dadurch eliminiren, dass man die Kugel eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen in entgegengesetzten Richtungen ausführen lässt und das Mittel aus den Ablenkungen nach beiden Seiten als Maass für die Stärke des Inductionsstromes in der einen oder anderen Richtung ansieht; denn da der Thermostrom sich bei der Drehung in der einen Richtung addirt und in der anderen subtrahirt, so liefert dieses Verfahren den wahren Werth der Stärke des Inductionsstromes. Wenn indess die Wismuthkugel nur fünf bis zehn Umdrehungen ausführt, so ist der thermoelektrische Effect so gering, dass die Ablenkung am Galvanometer nach der einen Seite nur sehr wenig grösser ist als nach der anderen. Bei genügender Sorgfalt fand sich, dass der Strom bei der Rotation der Wismuthkugel dieselbe Richtung hat wie der mit der Kupfer- und Eisenkugel erhaltene, und insoweit zeigte sie also auch denselben Sinn der Polarität der *auf* sie und *in* ihr wirkenden magnetischen Kraft an.

3355. Wurde die Kugel aus *hartem Stahl*, nachdem man sich vermittelst einer kleinen Nadel überzeugt hatte, dass sie unmagnetisch war, in das magnetische Feld gebracht und in Umdrehung versetzt, so entstand ein magnetoelektrischer Inductionsstrom von *derselben* Richtung wie die vorigen. Als sie entfernt worden war, stellte man durch abermalige Prüfung vermittelst der Magnetnadel fest, dass sie keinen merklichen Magnetismus angenommen hatte.

3356. Demnach zeigen diese vier Metallkugeln durch den bei ihrer Bewegung quer zu den Kraftlinien entstehenden magnetoelektrischen Strom, dass die auf sie und in ihrem Innern wirkenden magnetischen Kräfte dieselbe Polarität besitzen. Aus an anderer Stelle beschriebenen Untersuchungen weiss man, dass bei allen Metallen und allen Körpern von genügender elektrischer Leitungsfähigkeit, auch wässerigen Flüssigkeiten, der magnetoelektrische Strom dieselbe Richtung hat; dieselbe ist niemals umgekehrt, wenn nicht die Polarität sich umkehrt, und eine Umkehrung der Polarität hat *stets* eine Umkehrung des Inductionsstromes zur Folge.

3357. Nun wurde die Kugel aus hartem Stahl *magnetisirt*, und obschon ihre Gestalt nicht sonderlich geeignet war, Magnetismus zu behalten, so vermochte sie doch in Folge ihrer Härte, wenn sie sich in solcher Lage im magnetischen Felde befand, dass ihre Polarität der dort herrschenden

des ersteren entgegengesetzt war, ihre eigene Polarität zu bewahren; denn als sie aus dem Felde entfernt und vermittelst einer Magnetnadel untersucht wurde, erwies sich die Polarität der ursprünglichen gleich. Demnach schien es mir, dass dieser Magnet sowohl das *Eisen* als auch das *Wismuth* nach der Auffassung derjenigen, welche meinen, dass diese Körper im magnetischen Felde in entgegengesetztem Sinne polarisirt seien, repräsentiren könnte, insofern als er in solchen Polarisationszuständen in das magnetische Feld gebracht werden könnte, welche die genannten Körper hier annehmen sollen. Dem *Kugelmagnet* wurde daher eine mit dem dominirenden Magnet übereinstimmende Lage in dem magnetischen Felde gegeben, d. h. sein N-Pol dem S-Pol des letzteren zugekehrt; als er nun in Rotation versetzt wurde, trat ein magnetoelektrischer Inductionsstrom von derselben Richtung wie bei der Kupfer- und der Eisenkugel auf (3352, 3353). Als hierauf der Hauptmagnet entfernt (3353) und die Kugel wiederum in Umdrehung versetzt wurde, war der Strom, wie es sein musste, derselbe wie vorher; denn vermöge ihrer Coercitivkraft behält sie dauernd den Polarisationszustand, welchen das Eisen nur vorübergehend, während es sich im magnetischen Felde befindet, annehmen kann. Wurde der Kugelmagnet nun in horizontaler Richtung um 180^0 gedreht, wodurch er in eine in Bezug auf den Hauptmagnet (der jedoch noch entfernt blieb) umgekehrte Lage gebracht ward, so war die Richtung des Stromes der des vorigen oder Standard-Stromes *entgegengesetzt*, stand aber doch durchaus im Einklang mit der Eigenpolarität des Kugelmagnets.

3358. Nun wurde der Hauptmagnet allmählich genähert und sein Einfluss auf den Kugelmagnet in dieser umgekehrten Lage beobachtet. Der Strom wurde schwächer und schwächer und schliesslich umgekehrt, also gleich dem Standard-Strom. Dies kann auch nicht Wunder nehmen, wenn man bedenkt, dass der inducirende Magnet der grösste war, den Logeman in der Great Exhibition ausgestellt hatte, und der ein Gewicht von 430 Pfund zu tragen vermochte, während der Kugelmagnet nur 0,8 Zoll Durchmesser hatte und im Innern sehr unvollkommen gehärtet war. Wurde jedoch ersterer ein wenig fortgezogen, so fand man bald eine Stelle, wo bei der Rotation des Kugelmagnets in der einen oder anderen Richtung überhaupt kein Strom entstand. Ausserhalb dieser Stelle entstand bei der Rotation der Kugel ein dem Standard-Strom entgegengesetzt gerichteter, während die Eisen- und Wismuthkugel an dieser Stelle unter sich und dem Standard-Strom gleichgerichtete Ströme lieferten. In diesem Gebiete (und es ist gleich dem gesammten magnetischen Felde von vielen schwächeren aber immerhin doch sehr kräftigen Magneten) erhalten wir also, wenn wir uns das Wismuth, wie man ja annimmt, als einen Magnet von umgekehrter Polarität denken, magnetoelektrische Inductionsströme, welche denen beim Wismuth nicht gleich, sondern entgegengesetzt gerichtet sind; und wenn wir den das Wismuth vorstellenden Magnet so drehen, dass wir ihm die Lage geben, in der die bei der Rotation entstehenden Ströme denen beim

Wismuth gleichgerichtet sind, so steht seine Polarität hiermit nicht im Einklang, sondern ist der vermeintlichen Polarität des Wismuths entgegengesetzt.

3359. Da nun die Polarität oder Richtung der magnetischen Kraft, welche die Richtung der inducirten magnetoelektrischen Ströme, die in jedem bewegten Leiter auftreten, bestimmt, verschieden und gesondert ist von der Polarität oder Richtung, welche eine Bewegung der derselben Kraft ausgesetzten Körper bewirkt, wie kann man diese Erscheinungen durch die Annahme erklären, dass die Wismuthkugel denselben polaren Zustand habe wie der umgekehrte Kugelmagnet? Dieser ist thatsächlich dem Eisen ebenso *entgegengesetzt* wie dem Wismuth; demnach müssten Wismuth und Eisen sich gleich verhalten. Der directe Magnet verhält sich *ebenso* wie das Wismuth hinsichtlich der Polarität, vermöge welcher ein Strom inducirt wird; demnach müssten Magnet und Wismuth identisch sein. Wie leicht werden doch alle diese Erscheinungen durch das Princip der repräsentativen Kraftlinien in Einklang gebracht! Wenn der umgekehrte Kugelmagnet in einer gewissen Entfernung von dem Hauptmagnet rotirt, so kommen die Wirkungen seiner inneren Kraftlinien (3316) zur Geltung; bei der Annäherung des Hauptmagnets wird sein äusseres Kraftsphondyloid nach innen zusammengedrückt (3238, Fig. 15), er wird schliesslich auf sich selbst beschränkt und zeigt nunmehr, dass seine eigenen Kräfte gleich geworden, dass aber auch in seinem Innern keine Kraft des Hauptmagnets vorhanden ist; daher liefert er nun keine Inductionsströme an einem Orte, an dem sie bei Wismuth und Eisen ungehindert auftreten würden. Bei weiterer Annäherung macht sich der Einfluss der grösseren und überwiegenden Kraft des Hauptmagnets geltend (3358). Wiewohl dieser von dem kleinen Magnet theilweise Besitz ergreifen kann, so vermag dieser doch, wenn ersterer entfernt wird, seine Kraft abermals zu entfalten und dieselbe Reihe von Erscheinungen wie vorher zu zeigen.

3360. Van Rees giebt, glaube ich, zu, dass der bewegte Draht in Wahrheit den Nachweis von dem Dasein, der Richtung und der Natur der magnetischen Kraft oder Kräfte liefert, und es ist sehr wichtig, sich gegenwärtig zu halten, dass die Einstellung einer Magnetnadel oder eines Wismuthkrystalls und die Entstehung eines elektrischen Stromes in einem bewegten Leiter correlative und entsprechende Wirkungen der magnetischen Kraft sind. Die Hervorbringung der einen wie der anderen Wirkung setzt dieselbe Kraft voraus. Die Physiker sollten hinsichtlich dieses Punktes entweder ihr Einverständniss erklären oder ihre Meinungsverschiedenheit deutlich kundgeben; in letzterem Falle mögen sie klar zu erkennen geben, dass und wie die Erscheinungen physikalisch verschiedenartig seien; eine solche Feststellung muss zu neuen und wichtigen Entdeckungen führen. Die Polarisationsrichtung, welche der bewegte Leiter erkennbar macht, gleichviel ob er selbst ein paramagnetischer oder diamagnetischer Körper ist oder sich zwischen solchen bewegt, allein oder zugleich mit ihnen, ist *stets dieselbe.* Der erzeugte elektrische Strom zeigt niemals eine Aenderung der der *ursprünglichen* Kraftquelle angehörigen Polarisationsrichtung an, gleichviel ob erstere ein Magnet, ein Solenoid oder

von irgend welcher anderen Natur sei; der einzige Unterschied zeigt sich nur in der Stärke des erregten elektrischen Stromes und beruht auf der Verschiedenheit des elektrischen Leitungsvermögens (3143, 3152, 3163). Wenn dies nun die natürliche Wahrheit ist, wie können dann die beiden Untersuchungsmethoden jemals widerstreitende Resultate ergeben? Wenn solche anscheinend und bloss zuweilen auftreten, sollen wir in die Untersuchungsmethode, welche ein übereinstimmendes, oder in die, welche ein mit sich selbst scheinbar nicht im Einklang stehendes Resultat giebt, Zweifel setzen? Kennt man ja Erscheinungen von ähnlicher Gegensätzlichkeit, die durch Körper von *gleicher* Polarität hervorgerufen werden (3316), in grosser Menge und erklärt sie aus Differentialwirkungen, wozu man vortreffliche, sich selbst darbietende physikalische Gründe hat. Dass die Magnetnadel nicht immer ein wahrer unmittelbarer Indicator des Betrages oder der Richtung der magnetischen Action sein kann (2868, 2870, 3156, 3293), lässt sich hinlänglich begründen. Sollten wir daher in Anbetracht der obigen Erscheinungen nicht vielmehr einstweilen schliessen, dass die einfachen und gleichförmigen Angaben, welche man nach der einen Methode erhält, die wahren sind, und dass die Erscheinungen, wo sie nach der anderen Methode umgekehrt oder doppelsinnig sind, zum Theil *zusammengesetzter* Natur sind? Ich darf schliesslich bemerken, dass die Bewegungswirkungen und die Ergebnisse der Einwirkung des Magnetismus auf das Licht in keinem Falle sich umkehren, in welchem Medium auch immer man sie beobachtet. Beides weist auf eine einzige Polarisationsrichtung hin, nämlich auf die der wirkenden Quelle des Magnetismus.

3361. Ich will diese unvollkommenen Bemerkungen zu Ende führen, indem ich kurz angebe, wie ich mir den Zustand eines Magnets denke, und mich dagegen verwahre, dass das, was ich hier vorbringe, als meine Ueberzeugung aufgefasst werde, da es nur eine zu weiterer Forschung leitende Hypothese sein soll. In einem Magnetstab, für sich selbst betrachtet, erblicke ich eine Quelle dualer Kraft. Ich bin der Meinung, dass seine Dualitäten in wesentlicher Beziehung zu einander stehen und nur durch diese existiren können. Ich glaube, dass sie zwar vermittelst des Magnets durch eine erhaltende Kraft in Relation stehen, aber nicht in gleicher Weise durch eine entladende oder inducirende, der Coercitiv- oder erhaltenden Kraft an Grösse gleiche Kraft. Die äussere Beziehung scheint durch den Raum ringsum den Magnet vermittelt zu sein; dieser Raum enthält eine aus geschlossenen magnetischen Kraftcurven gebildete Kraftröhre. Hieraus ergiebt sich mir, dass der Raum nicht magnetisch dunkel (3305) ist; dass, wenn sich in diesem Raume Körper befinden, die, wie Kupfer, Quecksilber u. s. w., durch bekannte Erscheinungen eine ähnliche Beziehung zu jener Kraft haben wie der Raum, sie bei der Bewegung Anlass zur Entstehung magnetoelektrischer Ströme geben. Wenn Körper (Media) den Raum ringsum den Magnet einnehmen, so modificiren sie sein Vermögen, die dualen Kräfte des

Magnets durchzulassen und in Beziehung zu setzen, und je nachdem sie dieses Vermögen erhöhen oder schwächen, sind sie paramagnetischen oder diamagnetischen Charakters und geben so Anlass zu den Erscheinungen, welche ich mit dem Ausdruck magnetische Leitung (2797) bezeichnet habe. Ein und derselbe Magnet kann, je nachdem das seine Pole verknüpfende Medium variirt, Magnetismus von verschiedener Stärke festhalten. Wenn daher der Raum zwischen den Polen mit einem so guten Medium wie Eisen erfüllt ist und dieses nun durch Luft oder den leeren Raum oder Wismuth ersetzt wird, so nimmt die Stärke des Magnets ab. Entsprechende Wirkungen treten bei längeren oder kürzeren Magneten (3290), oder bei solchen, deren Querschnitt durch Nebeneinanderlagerung mehrerer Magnete vergrössert wird (3287), auf. Das einen Magnet umgebende Medium kann aus einem Gemenge verschiedener Substanzen bestehen, dann geht durch den besseren Leiter ein grösserer Theil der dualen Kraft als durch den schlechteren, aber der Gesammtbetrag der Kraft bleibt ungeändert. Die Eigenschaften und der Nutzen der Media und des Raumes selbst hören auf, wenn die duale Kraft oder polare Wirkung unterbrochen ist. Der Magnet könnte ohne ein umgebendes Medium oder den Raum nicht existiren; ihm diese entziehen, hiesse ihn vernichten, und er wird in der That vernichtet, wenn der Raum in ihm ungünstigem Sinne von der dualen Kraft eines Magnets von überwiegender Stärke eingenommen wird. Die Polarität jeder einzelnen Kraftlinie hat in dem ganzen geschlossenen Verlauf derselben die gleiche Richtung. Eine Abweichung in dem einen oder anderen Sinne ist eine Differentialwirkung, welche darauf beruht, dass die Kraftlinien gegen die der Einwirkung unterliegende Substanz convergiren oder von ihr divergiren, je nachdem sie ein besserer oder schlechterer Leiter der magnetischen Kraft ist.

3362. Diese meine Ansichten gebe ich mit all dem Vorbehalt, den ich schon früher (3244, 3299) hervorgehoben habe. Ich behaupte nicht durch meine Erklärungen alle Schwierigkeiten zu beseitigen. Ich habe keine klare Vorstellung von dem physikalischen Zustand, der den Magnetismus ausmacht, d. h. von dem Zustande der magnetischen Kraftquelle, oder von der Coercitivkraft, durch welche der Erreichung dieses Zustandes ein Widerstand entgegengesetzt wird oder derselbe in Permanenz aufrecht erhalten wird; denn die bisher vorgebrachten Hypothesen befriedigen mich nicht. Ich bekenne vielmehr, dass ich die Schwierigkeiten in den bisherigen Ansichten, die man gar zu leicht adoptirt hat, hervorheben und das gewohnte Zutrauen zu diesen erschüttern wollte; denn wenn auch die Aufhellung und Erklärung als der nützlichste und wirksamste Weg zur Förderung des Gegenstandes erscheint, so ist es doch besser, zu wissen oder wenigstens zu muthmassen, dass wir im Irrthum seien, als es nicht zu wissen und so leicht verleitet zu werden, etwas Falsches als richtig anzunehmen.

Royal Institution,
20. Dec. 1854.

Ueber einige Fragen zur Theorie des Magnetismus.[1])

Die magnetische und elektrische Kraftform, die beide von dualem Charakter sind und in die Ferne zu wirken vermögen, werden wahrscheinlich zu der Einsicht in die Naturkräfte überhaupt viel beitragen; und wenn (wie ich glaube) die Dualitäten diesen Kräften wesentlich, stets einander gleich und gleichwerthig und dermassen gegenseitig von einander abhängig sind, dass die eine nicht in die Erscheinung treten oder auch nur existiren kann ohne die andere, so dürfte der Beweis von dem wirklichen Dasein solcher Zustände zu mancherlei Consequenzen von höchster Wichtigkeit für das philosophische Verständniss der Kraft überhaupt führen. Einige Versuche über das elektrische Agens genügen, um uns sofort die Dualität der Vorgänge zu enthüllen. Wenn beispielsweise ein Metallgefäss, etwa ein Eiskübel isolirt und mit einem empfindlichen Goldblattelektrometer oder einem ähnlichen Instrument verbunden wird, und eine isolirte Metallkugel von halb so grossem Durchmesser wie der Eiskübel mit positiver Elektricität geladen in die Mitte des letzteren gebracht wird, wobei dessen Aussenseite einen Augenblick ableitend berührt und dann wieder isolirt gelassen wird, so wird das System aussen keine Spur von Elektricität zeigen und das Elektrometer wird keine Einwirkung aufweisen. Ein an die Kugel im Innern des Gefässes angelegtes Probescheibchen wird ihr jedoch positive Elektricität entziehen und somit die Art ihrer Ladung angeben. Würde man es an die Innenseite des Gefässes in einiger Tiefe anlegen, so würde es negative Elektricität fortnehmen und somit zeigen, dass der elektrische Zustand desselben dem der Kugel entgegengesetzt ist. Die Dualität lässt sich auch so beweisen, dass die Kugel herausgezogen wird; dann wird das Elektrometer zeigen, dass das Gefäss negativ und die Kugel positiv ist. Dass diese Dualitäten gleich sind, lässt sich zeigen, wenn man die Kugel wieder in das Gefäss senkt, das Elektrometer beobachtet und hierauf Kugel und Gefäss mit einander in Berührung bringt; die abermalige Beobachtung des Elektrometers zeigt, dass dasselbe hierdurch keine Veränderung erleidet. Hebt man schliesslich die Kugel heraus, so findet man sie vollkommen ent-

---

[1]) Proceedings of the Royal Institution, 19. Januar 1855.

laden und auch der Zustand der Aussenseite des Gefässes ist ungeändert der ursprüngliche. Demnach sind die Dualitäten gleich gross, äquivalent und unterhalten sich gegenseitig. Um zu zeigen, dass eine einzelne nicht für sich existiren kann, isoliren wir das Metallgefäss, laden es stark durch eine Elektrisirmaschine oder eine Leydener Flasche und lassen die Kugel in das Gefäss herab, bis sie den Boden desselben berührt. Nimmt man sie dann, ohne die Seiten zu berühren, heraus, so zeigt sie sich vollkommen frei von Ladung, in welchem Zustande auch immer sie sich vorher befunden haben mag; denn der Boden eines solchen Metallgefässes kann nur einen einzigen Zustand gehabt haben, und ein einzelner Zustand, d. h. eine unabhängige Dualität kann nicht für sich bestehen.

Man kennt die entsprechenden Dualitäten der magnetischen Kraft, nämlich Nordmagnetismus und Südmagnetismus. Man hat zahlreiche Versuche gemacht, ob es möglich sei, eine derselben zu isoliren und von der anderen zu trennen. So wurden sechs gleiche Elektromagnete in Form quadratischer Stäbe in drei zu einander senkrechten Richtungen so zusammengestellt, dass ihre inneren Enden, deren Polarität gleichartig war, einen cubischen Raum bildeten, der als Versuchskammer diente. Wurden diese Magnete erregt, so ergab die Untersuchung mittelst Nägel, Eisenfeilspäne, Spiralen und Nadeln, dass sie in der äusseren Richtung sehr kräftig waren; aber im Innern der Kammer, die auf allen Seiten von starken Nordpolen umwallt war, trat keinerlei Kraft auf: Eisenfeilspäne ordneten sich nicht an; kleine Nadeln wurden nicht beeinflusst, es sei denn, dass sie durch ihre eigenen inducirenden Kräfte eine Kraftvertheilung im Innern bewirkten; in rotirenden Drahtspulen wurden keine Ströme inducirt; die Kammer war eine Stelle ohne magnetische Wirkung. Gleichnamige Pole gewöhnlicher Magnete gaben entsprechende Resultate. Ein einzelner Pol zeigte seine sonstigen Eigenschaften, zog Eisen an und stiess Wismuth ab; wurde ein gleichnamiger Pol rechtwinklig zu ihm gestellt, so war der so gebildete einspringende Winkel ein Ort schwacher magnetischer Wirkung; Eisen wurde von hier fort zu den hervorragenden Ecken gezogen; Wismuth bewegte sich zu ihm hin. Ein dritter gleichnamiger Pol an der gegenüberliegenden Seite bewirkte eine weitere Schwächung dieses Ortes schwacher Kraft und vergrösserte ihn; ein oder zwei weitere Pole machten ihn sehr schwach und sechs Pole zusammen brachten ihn in den oben beschriebenen Zustand. Selbst wenn vier Magnete mit ihren Längsseiten so zusammengelegt wurden, dass sie eine längliche Kammer mit zwei Oeffnungen bildeten, so zeigte sich bei Einführung einer kleinen Nadel durch den einen oder anderen Zugang, dass dieselbe Orte von immer schwächerer und schwächerer Kraft durchschritt und dass es eine Stelle in der Mitte gab, wo keine magnetische Wirkung merklich war.

Andere sehr interessante Resultate erhielt man durch Herstellung von Höhlungen in den polaren Enden von Elektromagneten. In das Ende eines

cylindrischen Stabes von 1,5 Zoll Durchmesser wurde eine 1,3 Zoll tiefe concentrische Höhlung von 0,7 Zoll Durchmesser gebohrt. Wurden Eisenfeilspäne in die Nähe dieses Poles, nachdem er erregt worden, gebracht, so hafteten sie an der Aussenseite ringsherum, aber nur sehr wenige innen in der Nähe des äusseren Randes und keins drang in die Tiefe ein. Wurden sie auf einem Kartenstückchen in das Innere geschoben, so verhielten sie sich gegen den erregten Pol ganz indifferent, ausgenommen dass die in der Nähe der Mündung der Höhlung befindlichen heraustraten, indem sie von den Aussenrändern angezogen wurden. Ein Stück weiches Eisen, das an einem Kupferdraht befestigt war, wurde von den äusseren Punkten des Poles kräftig angezogen, blieb aber im Innern unbeeinflusst. Wurde die Höhlung mit Eisenfeilspänen angefüllt und der Magnet, nachdem er erregt worden, umgekippt, so fielen alle von der Basis und sonst aus dem Innern heraus, von denen jedoch einige an den äusseren Punkten des Poles haften blieben. Brachte man nacheinander Eisenstücke von wachsender Grösse, ein Eisenfeilspänchen, einen Nagel, einen Dorn und so fort, schliesslich einen langen Stab mit einem und demselben Punkte der Basis der Höhlung des umgekippten Magnets in Berührung, so wurden zwar die Eisenfeilspäne und die kleineren Eisenstücke nicht durch Anziehung festgehalten, aber sobald letztere eine solche Grösse hatten, dass sie das Niveau der Mündung der Höhlung erreichten oder darüber hinausragten, so zeigte sich Anziehung, und bei den grösseren Stücken war sie so gross, dass ein mehrere Pfund schwerer Stab an eben jener Stelle festgehalten werden konnte, welche nicht im Stande war, ein Eisenfeilspänchen festzuhalten.

Diese und viele andere Resultate sind experimentelle Beweise dafür, dass die magnetischen Dualitäten nicht einzeln auftreten können und, wenn sie in die Erscheinung treten, nothwendig und in gleichem Maasse mit einander verknüpft sind. Denn wenn diese Verknüpfung nicht wesentlich wäre, wie könnte ein Magnet für sich bestehen? Seine Kraft, die sich in Gegenwart von anderen Magneten oder Eisen oder Wismuth offenbart, muss, wenn diese entfernt werden, irgend eine *andere Form* annehmen oder *ohne Wirkung* sein. Ersteres ist niemals bewiesen oder auch nur vermuthet worden; letzteres ist unmöglich, da es mit dem Princip der Erhaltung der Kraft unvereinbar ist. Wenn aber die Dualitäten eines einzelnen Magnets auf einander angewiesen sind und so in gegenseitiger Beziehung stehen, geschieht dies in geraden Linien durch den Magnet hindurch oder in krummen Linien durch den umgebenden Raum? Dass dies nicht in geraden Linien durch den Magnet (dieser sei ein gerader Stab oder eine Kugel) geschieht, ergiebt sich daraus, dass die *innere* Vertheilung der Kraft (sei es eine Coercitivkraft oder eine andere), wie die Untersuchung mittelst einer den Magnet umgebenden Spirale zeigt, ungeändert bleibt, gleichviel ob der Magnet auf andere Magnete wirkt oder sich selbst überlassen bleibt (Experimental-Untersuchungen, 3119, 3121, 3215 etc.); ähnliche Unter-

suchungsmethoden zeigen, dass jedoch die *äussere* Vertheilung der Kraft hierdurch wohl eine Aenderung erleidet; es ändert sich demnach die Kraft in geraden durch den Magnet gehenden Linien nicht, unter Umständen, unter denen die Kraft in den äusseren (und nothwendig) krummen Linien es wohl thut.

Die Frage nach der Polarität des Wismuths oder Phosphors im magnetischen Felde ist eine unter vielen anderen Fragen, die wesentlich von der Natur der magnetischen Kraft abhängig und für die Einsicht in letztere sehr lehrreich sind. Die Annahme, dass sie eine den paramagnetischen Körpern entgegengesetzte Polarität haben, involvirt die Folgerung, dass Nordmagnetismus nicht immer Nordmagnetismus abstösst und Südmagnetismus anzieht; oder führt zu der anderen Annahme, dass es zwei Arten von Nordmagnetismus und Südmagnetismus giebt, die sich bald in dem einen, bald in dem entgegengesetzten Sinne combiniren. Lassen wir jedoch die Hypothesen und kehren zum Experiment zurück, so war zu hoffen, dass eine erzwungene Nachahmung des vermeintlichen Zustandes des Wismuths im magnetischen Felde seinen wahren Zustand enthüllen würde, und zu diesem Zwecke nahm man Zuflucht zu den von einem bewegten Leiter zu erhaltenden Angaben. Vier Kugeln von Kupfer, Eisen, Wismuth und hartem Stahl konnten um eine mit der magnetischen Axe eines kräftigen Hufeisenmagnets zusammenfallende Axe in Rotation versetzt werden. Um den äquatorialen Theil einer jeden Kugel war ein Kupferring fest aufgesetzt und mit diesem sowie mit der Axe der rotirenden Kugel wurden zu einem Galvanometer führende Drähte in Contact gebracht. Der in der rotirenden Kugel entstehende elektrische Strom wurde also zum Galvanometer geleitet und gab somit die magnetische Polarität der Kugeln an; die Rotationsrichtung und die Lage der Magnetpole blieb bei allen Versuchen dieselbe. So brachte also die Kupferkugel, die als Vergleichsnorm diente, bei der Rotation eine Ablenkung am Galvanometer in einem bestimmten Sinne hervor. Dieselbe Ablenkung am Galvanometer ergab die an Stelle der Kupferkugel rotirende Eisenkugel sowohl als auch die Wismuthkugel und die Kugel aus hartem Stahl bei ihrer Rotation im magnetischen Felde. Dieser Effect, den ich für einen zuverlässigen und unwandelbaren Nachweis der Polarität halte, zeigte also, dass der Zustand sämmtlicher Kugeln derselbe und demnach die Polarität der magnetischen Kraft im Eisen, Kupfer und Wismuth in allen Fällen die gleiche war (Experimental-Untersuchungen, 3164 etc.). Hierauf wurde die Stahlkugel in Richtung ihrer Axe magnetisirt und sie erwies sich so hart, dass sie den einmal angenommenen magnetischen Zustand auch in umgekehrter Lage zwischen den Polen des Hauptmagnets behielt, wie sich ergab, wenn sie von dort entfernt wurde: ihr Magnetismus war unverändert. Zu weiteren Versuchen wurde eine Lage gewählt, in der die Kraft des Hauptmagnets (der 430 Pfund zu tragen vermochte) nicht zu stark war; wenn nun der Stahlmagnet sich in einer dem Haupt-

magnet entsprechenden Lage befand, d. h. mit seinem Nordpol dem Südpol des letzteren gegenüber, so erfolgte die Ablenkung in demselben Sinne wie bei der Wismuthkugel; wenn ihre Lage jedoch so geändert wurde, dass ihr magnetischer Zustand derjenige war, den Manche dem Wismuth zuschreiben (also von umgekehrter Polarität), so war die Ablenkung der vom Wismuth herrührenden entgegengesetzt. Eine ausführliche Darlegung dieser Betrachtungen und Untersuchungen findet man in einer Abhandlung, die in dem Philosophical Magazine erscheinen wird.[1])

Es ist voraussichtlich von grosser Wichtigkeit, dass wir angeregt werden, unsere Gedanken abermals zu einer Betrachtung über die allgemeine Natur der physischen Kräfte zu wenden, insbesondere derjenigen Kraftformen, welche bei Fernwirkungen in Frage kommen. Diese schliessen sich vermöge dualer Eigenschaften ganz innig an diejenigen an, welche bei unmerklichen Entfernungen ins Spiel treten, und wir dürfen erwarten, dass der Fortschritt, den die physikalischen Wissenschaften in neuerer Zeit gemacht haben, uns befähigt, an diese tiefe und schwierige Frage weit besser ausgerüstet als frühere Physiker heranzutreten. Jetzt sind wir gewöhnt, Wirkungen in merkliche Fernen, wie beispielsweise die eines Magnets auf einen anderen, oder der Sonne auf die Erde zuzugestehen, als ob mit einer derartigen Annahme jede Frage nach der Natur der physischen Mittel, vermöge welcher Körper auf einander in die Ferne wirken, vollkommen beantwortet wäre; ja wer in die Zulänglichkeit dieser Antwort oder der Hypothese, auf welche sie sich gründet, Zweifel setzt, und eine befriedigendere Erklärung verlangt, läuft einigermassen Gefahr, vor der wissenschaftlichen Welt lächerlich oder unwissend zu erscheinen. Allein Newton, der für den Nachweis des Gesetzes über die Fernwirkung der Körper, mit Einschluss der Sonne und des Saturn, deren Abstand von einander 900 Millionen Meilen beträgt, mehr gethan hat als irgend Einer, verlässt seinen Gegenstand nicht, ohne sein wohlbedachtes Urtheil auszusprechen, dass die Idee der Anziehung von einander entfernter materieller Massen für sich den philosophisch Denkenden nicht befriedigen könne. Dass die Schwere der Materie eingeboren, immanent und wesentlich sei, so dass ein Körper auf einen anderen durch ein Vacuum in die Ferne wirken könne, ohne Vermittelung von irgend Etwas, vermöge dessen und durch welches ihre Wirkung und Kraft von dem einen auf den anderen übertragen werde, ist, wie er sagt, eine grosse Ungereimtheit. Die Schwere muss beständig durch ein Agens nach gewissen Gesetzen bewirkt werden; ob dieses Agens jedoch materiell oder immateriell sei, überlässt er der Ueberlegung seiner Leser. Dies ist der weitblickende Gedanke eines Mannes, der vermöge seines Wissens und seiner Geisteseigenschaften in dem Diamant eine coagulirte ölige Substanz sah, zu einer Zeit, als man ihn nur als durchsichtigen Stein

---

[1]) Siehe oben p. 486, oder Philosophical Magazine, 1855, vol. IX, p. 81.

kannte, und der ein Jahrhundert, bevor Wasser zersetzt oder der Wasserstoff entdeckt worden war, das Dasein einer brennbaren Substanz im Wasser voraussagte. Ich kann auch nicht umhin, zu glauben, dass die Zeit nahe ist, da seine Gedanken über die Schwerkraft Früchte bringen werden, und in dieser Ueberzeugung will ich einige Betrachtungen darüber anzustellen wagen, inwiefern mir die gemeinhin acceptirten Vorstellungen über die Schwerkraft und die angeblich in die Ferne wirkenden Kräfte überhaupt unzulänglich erscheinen, — Betrachtungen, welche sich an die neuere und philosophische Ansicht über die Erhaltung und Unzerstörbarkeit der Kraft anschliessen.

Diejenigen, welche Newton's Gesetz anerkennen, aber nicht weiter mit ihm gehen, verstehen unter der Schwerkraft dies, dass Materie Materie anzieht, und dass diese Anziehung umgekehrt proportional ist dem Quadrate der Entfernung. Denken wir uns nun eine materielle Masse (oder ein Molekel), nehmen wir als zu unserem Zwecke passend die Sonne, und denken uns eine Kugel von der Grösse eines Planeten, etwa unsere Erde, entweder plötzlich entstanden oder aus grosser Ferne an ihren wirklichen Ort in Beziehung zur Sonne gebracht, so wird die Gravitation ihre Anziehung äussern, und wir sagen, die Sonne ziehe die Erde, und die Erde zugleich die Sonne an. Wenn aber die Sonne die Erde anzieht, so muss diese Anziehungskraft entweder *in Folge* der Gegenwart der Erde in der Nähe der Sonne entstehen oder sie muss *vorher*, ehe die Erde da war, in der Sonne *existirt* haben. Was die erstere Annahme betrifft, so dürfte es ungemein schwierig sein, sich vorzustellen, dass das plötzliche Dasein der Erde, die 95 Millionen Meilen von der Sonne entfernt ist, vorher in keinem physikalischen Connex mit dieser stand und auch durch das blosse Einnehmen ihrer wirklichen Lage in keinen physikalischen Connex zur Sonne gelangt, im Stande sein sollte, eine vorher nicht existirende Kraft in dieser hervorzurufen. Die Erde müssen wir uns in Bezug auf die Schwerkraft ursprünglich als ebenso unthätig denken wie die Sonne, und sie kann eine Kraft in der Sonne ebenso wenig erregen oder verändern als diese in ihr; wir müssen uns beide zu Beginn des angenommenen Falles *ohne* Kraft denken, — wie kann nun diese Kraft durch ihre blosse Annäherung oder ihr Nebeneinandersein entstehen? Dass ein Körper ohne Kraft in einem von ihm entfernten Körper eine Kraft hervorrufen sollte, ist zu schwer zu denken; aber noch schwieriger, wenn es überhaupt möglich ist, wird dies, wenn wir bedenken, dass diese Vorstellung die der *Erschaffung der Kraft* in sich schliesst. Eine Kraft kann einer anderen widerstehen, von einer anderen abgelenkt, theilweise oder ausschliesslich gerichtet, ja sogar umgewandelt werden, in dem Sinne, in dem wir dies auch bei der Materie als möglich angesehen, dass sie nämlich in der einen Form zu existiren aufhören kann, um in einer anderen wiederzuerscheinen; aber sie kann nicht erschaffen oder vernichtet oder auch nur in Wirklichkeit suspendirt

werden, d. h. eine Existenz haben ohne Wirkung oder ohne ihre äquivalente Wirkung. Nun ist die Erhaltung der Kraft eine Idee, von deren Wahrheit die philosophisch Denkenden tief überzeugt sind, und ich glaube, dass sie allesammt zugeben, dass die Erschaffung oder Vernichtung von Kraft ebenso unmöglich ist wie die Erschaffung oder Vernichtung von Materie. Denken wir uns nun aber die Sonne allein im Raume existirend, keine Gravitationskraft nach aussen hin ausübend, und eine andere Kugel im Raume in demselben Zustande und nun beide einander genähert, und nehmen an, dass sie durch ihre Gegenwart sich gegenseitig zu wirken anregen, so heisst dies nicht bloss eine Erschaffung von Kraft annehmen, sondern eine *zwiefache Schöpfung*, denn beide sollen ja aus einem ursprünglich unthätigen zu einem wirksamen Zustande geweckt werden. Der Voraussetzung zufolge müssten sie bei ihrer Entfernung wiederum in den kraftlosen Zustand übergehen, und dies käme einer *Vernichtung* von Kraft gleich. Man sieht leicht ein, dass das Beispiel von der Sonne und der Erde oder irgend zwei oder mehreren wirkenden Körpern reciprok ist, und dass die bei jeder Annäherung oder Entfernung erfolgende Aenderung der Anziehung ebenso zu der Folgerung der Erschaffung oder Vernichtung von Kraft führt, wie die Erschaffung oder Vernichtung (welch' letztere nichts weiter ist als die gänzliche Fortschaffung) eines der wirkenden Körper selbst.

So muss man, glaube ich, schliessen, wenn man annimmt, dass die Anziehung der Sonne auf die Erde *in Folge* der Gegenwart der letzteren, und die Anziehung der Erde auf die Sonne in Folge der Gegenwart der Sonne entsteht. Von dem noch übrigen Gesichtspunkte aus, dass die Kraft oder die wirksame Kraftquelle vorher in der Sonne (oder der Erde) existirt habe, *ehe* die Erde (oder die Sonne) da war, muss man, wie mir scheint, dem Princip der Erhaltung der Kraft zufolge, drei Möglichkeiten unterscheiden. Entweder muss die Gravitationskraft der Sonne, wenn sie gegen die Erde gerichtet ist, in äquivalentem Maasse von anderen Körpern abgelenkt werden, und wenn sie der Erde (indem wir uns denken, dass diese verschwindet) entzogen wird, sich auf andere Körper vertheilen; oder sie muss, wenn sie eben aufhört Gravitation zu sein, in eine *neue* Kraftform übergehen und irgend eine andere Kraftform verbrauchen, wenn sie als Gravitation auftritt; oder sie muss *immer* um die Sonne durch den unendlichen Raum hin existiren. Die erstere Möglichkeit liegt nicht in der Vorstellung, die man sich gewöhnlich von der Gravitation macht, und man wird sie schwerlich für wahrscheinlich halten, da es kaum denkbar ist, dass derartige Vorgänge von den Astronomen bei Beobachtung der Planeten in ihren verschiedenen Stellungen zu einander und zu der Sonne nicht sollten bemerkt worden sein. Ueberdies stellt man sich die Gravitation nicht als eine duale Kraft vor, allein nur bei solchen Kräften hat man bisher derartige Ablenkungen durch die Erfahrung erkannt oder sonst erschlossen. Auch an die zweite Möglichkeit, nämlich die Annahme einer neuen oder

anderen Kraftform, hat Niemand im Zusammenhange mit der Theorie der Gravitation gedacht. Ich habe mich allerdings bemüht, durch Versuche zwischen der Schwere und Elektricität einen Zusammenhang zu finden, wobei ich eben dieses Ziel im Auge hatte (Phil. Trans. 1851, p. 1)*), allein die Resultate waren völlig negativ. Jene Vorstellung würde die andere in sich schliessen, dass nicht bloss die Sonne, sondern alle Materie, welche auch ihr Zustand sei, Extrakräfte äussern müsse, sobald sie der Gravitation irgend entzogen würde; dass der Charakter der Partikel eines Kometes in seinem Perihel sich durch Umwandlung eines Theiles ihrer Molecularkraft in Schwerkraft, die eben hierdurch den entsprechenden Zuwachs gewinnt und sich nunmehr als solche äussert, verändern würde, während im Aphel diese Extra-Gravitationskraft sich wieder in die frühere oder eine andersartige Molecularkraft zurückverwandeln würde; in jedem Falle müssten die Umwandlungen jedoch einander äquivalent sein. Man könnte ohne eine derartige Annahme nicht einmal die Zerstreuung einer Staubwolke oder ihre Verdichtung zu einem Stein begreifen; aber ich glaube nicht, dass Jemand diese Möglichkeit acceptiren würde. Es bleibt demnach das Dritte übrig, dass nämlich die Kraft ringsum die Sonne und durch den unendlichen Raum hin beständig existirt, gleichviel ob andere Körper, auf die die Gravitation ausgeübt werden kann, vorhanden sind oder nicht; aber nicht bloss um die Sonne, sondern um jedes vorhandene materielle Theilchen muss die Kraft existiren. Diese Auffassung, dass die Wirkungsfähigkeit im Raume eine beständige und nothwendige ist, auch wenn mit Bezug auf die Sonne die Erde *nicht* an ihrer Stelle ist, und dass eine gewisse Gravitationswirkung, wenn die Erde an ihrer Stelle *ist*, das Resultat jenes Zustandes ist, kann ich als mit der Erhaltung der Kraft im Einklang stehend begreifen, und diese Auffassung ist es wohl auch, die Newton von der Gravitation hatte, die in philosophischer Hinsicht die nämliche ist, wie die in Betreff des Lichtes, der Wärme und der Strahlungserscheinungen allgemein adoptirte Auffassung, und die (in einem noch allgemeineren und umfassenderen Sinne) nunmehr unsere Aufmerksamkeit in einer besonders zwingenden und lehrreichen Weise durch die Erscheinungen der Elektricität und des Magnetismus, wegen deren Abhängigkeit von dualen Kraftformen, auf sich gezogen hat.

22. Januar 1855.

---

*) Oben XXIV. Reihe. D. Ü.

Weitere Beobachtungen über Fälle von gleichzeitiger Strömungs- und Spannungswirkung bei der elektrischen Induction.[1])

Melloni, dessen Verlust die Wissenschaft tief beklagen muss, beschäftigte sich in der letzten Zeit seines Lebens mit Untersuchungen über statische Elektricität, insbesondere über Induction, Leitung u. s. w. Im Anschluss hieran und an die von mir veröffentlichten Beobachtungen über die Ladung und Leitung unterirdischer und unterseeischer isolirter Drähte[2]) wünschte er zu wissen, ob sich irgend eine Verschiedenheit in der *Zeit* erkennen lasse, in welcher Ströme von grösserer oder geringerer Intensität, d. h. Ströme von Batterien aus verschiedener Anzahl von Platten durch solche Drähte hindurchgehen. Ich wandte mich zu dem Ende an Latimer Clark, und er ergriff die Gelegenheit, ähnliche Versuche mit demselben Eifer wie früher anzustellen, deren Resultate ich von ihm erhielt und an Melloni sandte. Dieser veröffentlichte sie nebst einigen Bemerkungen in einer italienischen Zeitschrift (deren Namen in der mir übersandten Abhandlung nicht angegeben ist) und bald darauf wurde er uns plötzlich durch den Tod entrissen. Da Clark's Versuchsergebnisse bei uns noch nicht bekannt sind, so habe ich geglaubt, dass eine kurze Mittheilung darüber von Werth sein würde. Zwischen London und Manchester war mit Guttapercha überzogener Kupferdraht von 768 Meilen Länge in vier Linien in den Boden gelegt und so mit einander verbunden, dass Anfang und Ende der ganzen Leitung sich in London befand; die mit derselben erhaltenen Resultate wurden durch den Bain'schen Drucktelegraphen aufgezeichnet. Folgendes ist der Wortlaut seiner vom 31. Mai 1854 datirten Mittheilung:

„Ich habe einige Versuche angestellt über die relative Geschwindigkeit von Strömen verschiedener Intensität, deren Resultate auf den beifolgenden Papierstreifen aufgezeichnet sind. Durch Intensitätsströme, die mit kleinen Platten erzeugt wurden, vermochte ich nicht gleiche Galvanometer-Ablenkungen wie mit Strömen von wenigen grossen Platten zu erhalten, denn

---

[1]) Aus dem Philosophical Magazine vom März 1855.

[2]) Oben p. 467; auch Royal Institution Proceedings, I, 345 oder Phil. Mag. 1854, VII, p. 197.

keine Plattenvergrösserung kann den Mangel an Intensität ersetzen. Ich spiele hiermit auf die von Melloni empfohlene Versuchsform an, aber ich glaube, dass die vorliegenden für ihn von Interesse sein werden.

„Zu den Versuchen diente ein 768 Meilen langer mit Guttapercha überzogener Draht, der von London nach Manchester zweimal hin- und herging, und unsere gewöhnliche Kupfervitriol-Batterie mit Platten von drei Quadratzoll. Die Anzahl der hinter einander geschalteten Zellen variirte zwischen 31 und 16 × 31 oder 500.

„Auf den beifolgenden Streifen bedeutet die obere Linie die Zeit, während welcher der Strom mittelst einer localen Vorrichtung hindurchgesandt wurde.

„Die zweite (punktirte) Linie bedeutet die *Zeit in Secunden*, die von einem Secundenpendel angegeben wurde, das in der Mitte seines Schwingungsbogens an einer leichten Feder anschlug.

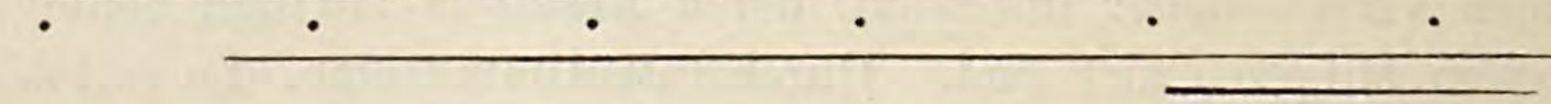
„Die dritte Linie bedeutet die Zeit, zu welcher der Strom an dem (wie wir es nennen wollen) entfernten Ende der 768 Meilen langen Linie ankam.

„Die vierte Linie zeigt bloss die rückständige Entladung aus dem nahen Ende des Drahtes, das mit der Erde in Verbindung gesetzt wurde, sobald die Batterie geöffnet wurde. Dies hat mit dem Gegenstande unserer Untersuchung nichts zu schaffen.

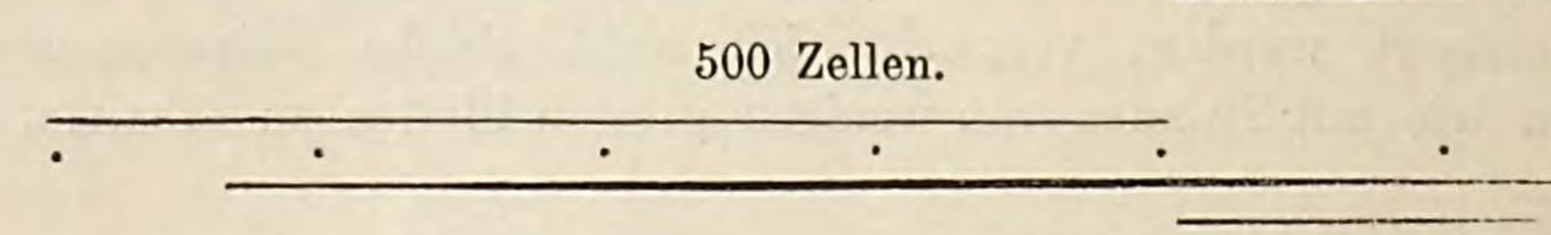
„Aus der dritten Linie ersieht man, dass jedes Mal etwa zwei Drittel einer Secunde vergingen, ehe der Strom an dem 768 Meilen entfernten Ende anlangte, was eine Geschwindigkeit von etwa 1000 Meilen in der Secunde ausmacht. Das Interessanteste scheint jedoch zu sein, dass diese Geschwindigkeit *für alle Intensitäten*, von 31 bis 500 Zellen, *merklich gleich ist.*“

Melloni hat eine Copie der bei Anwendung von 31 und 500 Plattenpaaren erhaltenen Aufzeichnungen mitgetheilt; unglücklicherweise ist dieselbe ungenau, da darin die vierte Linie zur Zeit des Endes der dritten anfängt, während sie ihren Anfang am Ende der ersten nehmen sollte; auch verdünnt sich die dritte Linie nicht so wie in der Originalzeichnung. Das Folgende ist eine Copie von anderen Aufzeichnungen, die zu derselben Zeit mit Bain's Druckapparat erhalten wurden. Versuche mit 62, 125 und 250 Zellen gaben ähnliche Resultate wie die mit 31 und 500 Zellen.

31 Zellen.



500 Zellen.



Nach einigen Bemerkungen, die hauptsächlich die Art der Versuche und das Verfahren betreffen, wie praktische Schwierigkeiten zu vermeiden

sind, sagt Melloni: „Es scheint demnach, dass, wenn der elektrische Strom stark genug ist, um den gesammten Leitungswiderstand, von welcher Länge auch immer, zu überwinden, eine Vermehrung der Intensität um das Zehn- oder Zwanzigfache seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit nicht ändert. Diese Thatsache steht in offenem Widerspruch mit dem, was man allgemein unter den Ausdrücken *Quantität* und *Intensität* versteht, da der erstere die Menge der Elektricität mit der einer Flüssigkeit vergleicht, und der zweite die Elasticität oder die Tendenz zur Bewegung vorstellt. Die Gleichheit der Geschwindigkeit von Strömen verschiedener Spannung liefert im Gegentheil ein schönes Argument zu Gunsten der Ansicht, welche in dem Verhalten des elektrischen Stromes ein Analogon zu den durch tönende Körper veranlassten Luftschwingungen erblicken. So wie hohe und tiefe Töne mit gleicher Geschwindigkeit durch den Luftraum gehen, welche Länge und Intensität auch die durch die Schwingung des tönenden Körpers entstandene Luftwelle haben mag, so pflanzen sich auch die mehr oder weniger raschen, mehr oder weniger lebhaften Schwingungen des durch Batterien von grösserer oder geringerer Plattenzahl erregten elektrischen Fluidums mit gleicher Geschwindigkeit in Leitern fort. Jedermann sieht, wie die von uns zur Erklärung von Naturerscheinungen erdachten Hypothesen zu gewissen experimentellen Untersuchungen anregen, deren Ergebnisse entweder ihre Haltbarkeit oder ihre Unzulänglichkeit beweisen."

Melloni sagt dann, dass er in Kurzem Gelegenheit haben wird, Thatsachen zu veröffentlichen, welche das Irrthümliche mancher Schlussfolgerungen, die man bisher hinsichtlich der elektrostatischen Induction für zulässig erachtet hat, klar darthun werden. Aus schriftlichen Mittheilungen von ihm weiss ich, dass er die von Coulomb, Poisson und seither von Anderen erlangten Resultate als nicht im Einklang mit dem wahren Sachverhalt in der Natur stehend erachtet hat.[1]) Inzwischen starb er, und ob seine Untersuchungen soweit vollendet sind, dass sie veröffentlicht werden können oder nicht, weiss ich nicht.

Dass die Zeit, welche Ströme von verschiedener Intensität brauchen, um an dem entfernten Ende eines und desselben Drahtes von demselben

---

[1]) Er sagt: „Ich müsste mich sehr irren oder das Fundamentaltheorem der elektrischen Induction, wie man es gewöhnlich ausgesprochen findet, muss abgeändert werden, wenn nicht zwei gänzlich verschiedene Vorgänge mit einander verwechselt werden sollen: der elektrische Zustand während der Induction und nach der Berührung und Abtrennung des inducirenden Körpers. Wir wissen vollkommen, was im letzteren, aber nicht, was in dem ersteren Falle geschieht u. s. w." Ferner: „In meinem letzten Briefe erhob ich Zweifel gegen die Folgerungen, die man bisher aus den Versuchen gezogen hat, welche die Grundlage des Fundamentaltheorems der elektrostatischen Induction bildeten. Diese Zweifel sind bei mir zur Gewissheit geworden . . . . und ich halte mich nun vollständig überzeugt, dass die Darstellung dieses Theorems wesentlich modificirt werden muss." (Juli 1854.)

inductiven Zustande zu erscheinen, die nämliche ist, ist ein sehr schönes Resultat. Man könnte im ersten Augenblick meinen, dass dies im Widerspruch steht mit den von mir vor einigen Jahren aufgestellten Ansichten über Induction und Leitung und den späteren Sätzen über die *Zeit*. Das scheint mir jedoch nicht der Fall zu sein, wie einige weitere Bemerkungen über Clark's neue Versuche vielleicht darthun werden. Aus der kleineren Batterie strömt in einer gegebenen Zeit weit weniger Elektricität in den Draht als aus der grösseren. Gesetzt, die Batterien wären so verschieden, dass die Elektricitätsmengen sich wie 1 zu 10 verhalten, so wird doch offenbar, obschon ein Stromstoss aus beiden dieselbe Zeit zur Fortpflanzung durch den Draht brauchen wird, der Draht ein zehnmal besserer Leiter für den schwachen Strom sein als für den starken, oder mit anderen Worten, ein Draht von nur einem Zehntel der Masse desjenigen, welcher für den grösseren Strom benutzt wird, müsste für den kleineren angewandt werden, wenn der Widerstand für *gleiche Elektricitätsmengen* von verschiedenen Intensitäten gleich gemacht werden soll.

Nach meiner Ansicht steht die Verzögerung des durchgesandten Stromes im Zusammenhang mit der momentanen Induction, die durch den isolirten und mit einer äusseren Belegung versehenen Draht hervorgerufen wird. Die Induction ist der Intensität proportional und daher vermindert sich ihr specieller Einfluss auf die Verzögerungszeit in dem Maasse, als die Intensität des Stromes geringer ist, so dass hierdurch die Verzögerungszeit beider Ströme gleich wird.

Der *Zeit*unterschied in den früheren Versuchen, je nachdem die Drähte an der Luft ausgespannt waren oder in der Erde oder unter Wasser lagen, hängt offenbar von der Verschiedenheit der seitlichen Induction ab. Der Draht in der Luft lässt kaum eine Verzögerung erkennen; in dem unterirdischen Draht beträgt sie nahezu zwei Secunden. Könnte die Dicke des isolirenden Guttapercha-Ueberzuges von 0,1 auf 0,01 Zoll verringert und aussen das Wasser oder die Erde durch Quecksilber ersetzt werden, so zweifle ich nicht, dass jene Zeit noch grösser sein würde. Dennoch ist es durchaus wahrscheinlich, dass an allen diesen verschiedenen Fällen elektrische Ströme von hoher wie von niederer Intensität nach gleicher Zeit am Ende desselben Drahtes anlangen würden.

Clark's Resultate können folgendermassen ausgedrückt werden: Eine gegebene Elektricitätsmenge von hoher Intensität und eine kleine Menge von verhältnissmässig niedrigerer Intensität wird an dem entfernten Ende desselben Drahtes nach Verlauf derselben Zeit erscheinen. Hiermit ist die Entladung *derselben* Elektricitätsmenge von *verschiedener* Intensität durch *denselben Draht*, gemeint, die Mengen in den erläuternden Versuchen mittelst einer Leydener Flasche gemessen. Bei Betrachtung und weiterer Erklärung dieser Resultate muss man sich erinnern, dass hier nicht von einem Unterschiede der Zeit, Geschwindigkeit oder Fortpflanzung eines

continuirlichen Stromes die Rede ist — denn für diesen ist sie in einem unterirdischen Drahte dieselbe wie in einem oberirdischen — sondern wir haben es hier nur mit dem Unterschied in dem *ersten Erscheinen* desselben Stromes zu thun, wenn er durch Drähte unter diesen verschiedenen Umständen geleitet wird. Nach dem ersten Erscheinen verhalten sich beide Drähte gleich bis zum Aufhören des Stromes, wo abermals ein Unterschied auftritt, der zu dem ersten complementär ist.

Diese Versuche lassen sich mannigfach abändern, es lassen sich mannigfache graduelle Abänderungen und auch andere gleichwerthige Versuchsformen ersinnen. Senkt man statt eines cylindrischen Drahtes einen flachen Streifen von gleichem Gewicht oder mehrere dünne Drähte, sämmtlich gleichmässig mit Guttapercha überzogen, in die Erde oder Wasser, so werden wahrscheinlich bei demselben Strome Unterschiede in der Verzögerungszeit auftreten, und ich glaube, dass der Streifen, da er eine grössere Inductionsoberfläche darbietet als der Cylinder, eine stärkere Verzögerung verursachen wird; alle diese oder ähnliche Abänderungen würden aber wahrscheinlich bei Strömen von verschiedener Intensität *dieselbe* Verzögerung zur Folge haben. Ferner kann man kaum zweifeln, dass bei Substanzen von verschiedener Leitungsfähigkeit, wie Eisen und Kupfer, die Verzögerung eine verschiedene sein würde, ebenso wie bei der Fortpflanzung des Schalles und Lichtes. Auch in diesen Fällen darf man vermuthen, dass die Verzögerung für Ströme von hoher und niederer Intensität in demselben Draht dieselbe sein würde, aber es wäre sehr interessant zu *wissen*, ob es wirklich so ist.

Die Verfolgung dieser Resultate und der hierbei in Betracht kommenden Principien durch die mannigfachen Formen hindurch, unter denen sie bei derartigen Abänderungen der Leiter und auch der Ströme auftreten, bietet, wie Melloni bemerkt hat, sehr ausgedehnte und interessante Untersuchungen dar; sogar das Vermögen eines Stromes, in benachbarten Drähten und anderen Leitern einen Strom zu induciren, sowie die Erscheinungen und Principien der magnetoelektrischen Induction fallen in den Bereich dieser Untersuchung.

Royal Institution,
7. Febr. 1855.

DREISSIGSTE REIHE.*)

§ 38. Constanz der differentiellen Magnekrystallkraft in verschiedenen Medien. — § 39. Einfluss der Wärme auf Magnekrystalle. — § 40. Einfluss der Wärme auf die absolute magnetische Kraft der Körper.

Eingegangen am 24. October, — Gelesen am 15. und 22. November 1855.

3363. Indem ich mich der Kraftlinien als eines getreuen, leitenden und nie im Stiche lassenden Bildes der Einen Kraftform bediente, welche sich in Paramagneten, Diamagneten und elektrischen Strömen zeigt, und indem ich mich gleichzeitig bemühte, das Princip dieser Darstellungsweise zu einem Schlüssel für neue Erscheinungen zu machen, dabei das Princip selbst einer strengen Kreuz- und Querprüfung unterwerfend, hatte ich Gelegenheit, das Verhalten gewisser magnetischer Körper in verschiedenen Medien und bei verschiedenen Temperaturen zu untersuchen; und da die Resultate zuverlässig sind und demnach bei jeder Ansicht über die Ursache der magnetischen Wirkungen einen Werth beanspruchen dürfen, so hielt ich sie für würdig, sie der Royal Society vorzulegen.

3364. Wenn ein nicht magnetisirter, aber magnetisirbarer Körper in einem magnetischen Felde unter dem Einfluss der daselbst auf ihn einwirkenden Kräfte eine bestimmte *Richtung* oder Lage einnimmt, so kann die Wirkung von seinem besonderen molecularen Zustande oder von seiner Beziehung zu dem umgebendem Medium oder von beiden zugleich oder von der Temperatur im Verein mit einem dieser Umstände oder mit beiden abhängen. Einige dieser Bedingungen waren Gegenstand meiner Untersuchung.

§ 38. Constanz der differentiellen Magnekrystallkraft in verschiedenen Medien.

3365. Wenn ein Kalkspath- oder Wismuthkrystall in Gestalt einer Kugel oder eines Cylinders im magnetischen Felde aufgehängt wird, so

---

*) Philosophical Transactions for 1856, vol. 146, Part I, p. 159. — D. Ü.

stellen sie sich mit beträchtlicher Kraft in einer bestimmten Richtung ein, während sie, wenn sie aus amorphem oder körnigem kohlensauren Kalk oder Wismuth bestehen, kein derartiges Bestreben zeigen. In dem letzteren Falle wird die Kugel (vermöge ihrer Beziehung zu dem umgebenden Medium) von Punkten stärkerer zu Punkten schwächerer Kraft gedrängt; in dem ersteren Falle hat sie dieselbe Tendenz, aber es kommt noch eine besondere Richtkraft hinzu, welche keine Beziehung zu dem umgebenden Medium hat, sondern auf der Verschiedenheit der Stärke der magnetischen Kraft in verschiedenen Richtungen innerhalb der Kugel selbst beruht. Diese Erscheinungen bilden den unter dem Namen *magnekrystallische Wirkungen* bekannten Wissenschaftszweig. In Bezug auf Wismuth haben frühere Versuche (2499—2501) gezeigt, dass die Beziehung zwischen der magnetischen Kraft in der axialen und äquatorialen Richtung sich nicht ändert, wenn man verschiedene umgebende Medien anwendet, wenn man von Wasser zu Eisenvitriollösung übergeht. Diese Unveränderlichkeit ist am Ende von anderen Physikern und vielleicht auch bei anderen Substanzen bestätigt worden, da mir aber keine strenge Untersuchung hierüber bekannt ist, so hielt ich es im Interesse meiner eigenen Ansichten, welche gerade jetzt sicherere Beweise als die bisher gegebenen erforderten, für nützlich, die experimentellen Ergebnisse zu erweitern und auszudehnen.

3366. Die von mir angewandte Methode, die möglichen, durch verschiedene Umstände bewirkten Aenderungen der Kraft zu vergleichen, bestand darin, dass ich den Gegenstand, beispielsweise einen Magnekrystall, an einem Torsionsfaden oder Drahte aufhängte, ihn in das magnetische Feld brachte, den Torsionszeiger so einstellte, dass er, wenn der Krystall die stabile Gleichgewichtslage eingenommen hatte, auf Null stand und nun eine Torsion rechtsherum bewirkte, bis der Krystall den Punkt labilen Gleichgewichtes oder den Umschlagepunkt auf dieser Seite erreicht hatte. Nachdem die hierzu erforderliche Torsion notirt war, wurde zur Erzeugung der entgegengesetzten Bewegung eine Torsion linksherum bewirkt, bis der Umschlagepunkt auf dieser Seite erreicht war. Jede dieser Kräfte, vermindert um die Ablenkung, ist ein Maass für die Umschlagekraft; daher kann die Summe dieser beiden Angaben, vermindert um die Anzahl der Grade, durch welche der Krystall sich bewegt hat, um von dem einen Umschlagepunkt zu dem anderen zu gelangen, als Ausdruck der Kraft angesehen werden, welche den Krystall in seiner stabilen Ruhelage erhält. Dadurch, dass die Beobachtungen zu beiden Seiten des Nullpunktes gemacht wurden, hatte man zugleich den Einfluss des Torsionsfadens in regelmässiger und compensirender Weise in die Beobachtung eingeschlossen; man hatte zwei feste Ausgangspunkte (die Umschlagepunkte) und somit auch einen weiten, d. h. empfindlichen Ausdruck für die zu messende Kraft erhalten.

3367. Wenn ein Magnekrystall in einem magnetischen Felde aufgehängt ist und man die Torsionskraft, um ihn aus der Ruhelage ab-

zulenken, allmählich steigert, so wird diese Kraft offenbar den Krystall herumdrehen, bis er eine Lage annimmt, in welcher seine Richtkräfte der Torsionskraft gleich sind, jenseits welcher aber, bei weiterer Drehung des Krystalls, die ersteren rascher abnehmen werden als die letzteren, so dass die geringste Steigerung der Torsionskraft den Krystall über diese Lage hinaustreibt und bewirkt, dass er sich um viele Grade weiterdreht. Diese Lage (der Umschlagepunkt), die eine Lage labilen Gleichgewichtes ist, lässt sich leicht experimentell feststellen und bei vorsichtiger Handhabung des Torsionszeigers leicht erreichen. Wenn die beiden Umschlagepunkte beobachtet sind, so ist die gesammte Anzahl der Torsionsgrade, die erforderlich sind, um von dem einen zu dem anderen zu gelangen, ein vortreffliches Maass der Richtkraft des Versuchsobjectes. Ist der Krystall würfel- oder kugelförmig und zwischen ebenflächigen Polen aufgehängt, so bilden die beiden Umschlagepunkte einen Winkel von nahezu 45^0 mit der axialen Linie, untereinander also einen Winkel von beinahe 90^0. Ich fand, dass dieser Winkel für verschiedene Objecte verschieden ist, für ein und dasselbe Object ändert er sich aber bei gleich bleibender Lage der Pole etc. nicht, wie auch die Kraft sich ändern mag. Er war daher für jedes Object in jeder Beobachtungsreihe, wo nur die Kraft variirte, experimentell zu ermitteln; denn da er in die Drehung des Torsionszeigers eingeschlossen war, so hatte man ihn, als eine constante Grösse, von dem beobachteten Resultat abzuziehen, und der Rest bildete somit den wahren Ausdruck für die zwischen den beiden Umschlagepunkten ausgeübte Torsionskraft.

3368. Der von mir benutzte Magnet war der grosse, den Logeman verfertigt und zur Ausstellung von 1851 gesandt hatte. Er vermochte ein Gewicht von 430 Pfund zu tragen und sein Magnetismus bleibt, glaube ich, sehr constant; er ist nebst der jetzt benutzten Torsionswaage in den Proceedings of the Royal Institution beschrieben.[1]) Die verschiebbaren Anker waren von Quadrateisen und kehrten entweder ihre zugespitzten Enden oder ihre flachen Seiten von 1,7 Quadratzoll, zwischen denen sich die Tröge oder Gefässe mit den zu den Versuchen erforderlichen Flüssigkeiten und Medien befanden, gegen einander. Diese Gefässe waren von verschiedener Grösse und Substanz; die äusseren bestanden jedoch gewöhnlich aus Kupfer und hatten flache Seiten, damit die Anker dicht anliegen und so ihre Lage im Verlaufe eines einzelnen Versuches oder einer Reihe von vergleichbaren Beobachtungen behalten konnten.

3369. Der Torsionsfaden war ungefähr 24,5 Zoll lang, und zwar entweder ein Platindraht, von dem 28,5 Zoll 1 Gran wogen, oder ein dünnerer Silberdraht oder ein Bündel von Coconfasern. Letzteres war für gewisse feine Versuche zweckmässig, konnte aber nur in einer beschränkten Anzahl von Fällen angewandt werden, da seine Torsionskraft unter Ein-

---

[1]) 21. Januar 1853, vol. I, p. 230 [oben p. 457].

fluss von Wasser-, Kampher- und anderen Dämpfen sehr veränderlich ist. Alle diese Aufhängungsvorrichtungen geben mehr oder weniger Anlass zu Aenderungen des Nullpunktes, je nach den Schwingungen, die der Apparat zu vollführen hat; aber bei Gleichheit der Beobachtungszeit, bei Achtsamkeit und insbesondere durch abwechselnde Beobachtungen von Rechts- und Linksdrehungen (3366) lässt sich dieser Einfluss in sehr hohem Maasse eliminiren. Der Torsionsdraht endete unten in einem Haken aus einem flachen Stücke Blattkupfer, um einen anderen Haken aufzunehmen, der an dem zu untersuchenden Gegenstand befestigt war.

3370. Der Krystall oder ein anderer Gegenstand wurde gehalten durch einen einmal herumgeschlungenen dünnen Kupferdraht, der sich 5,7 Zoll aufwärts fortsetzte und in einem flachen Haken wie der eben beschriebene endigte. In dieser Weise konnten die verschiedenen Gegenstände an dem Torsionsdraht befestigt werden, ohne dass eine lose oder unbestimmte Bewegung um den Befestigungspunkt möglich gewesen wäre. An jeder Schlinge war ein horizontaler Arm befestigt, der durch seine Lage nicht bloss den Ort des Krystalls oder anderen Gegenstandes darunter anzeigte, sondern dadurch, dass er zwischen zwei beweglichen, mit einer horizontalen Scala versehenen Hemmstücken zurückgehalten wurde, auch angab, wann der Krystall sich den Umschlagepunkten näherte, und indem er innerhalb der von den Hemmstücken bestimmten Grenzen lag und von ihnen gelenkt wurde, hierdurch auch gestattete, den Krystall zu lenken.

3371. Die Waage war in Glas eingeschlossen, um Luftströme so viel als möglich abzuhalten und deren Entstehung zu verhindern.

3372. Um über die differentielle Magnekrystallkraft von Körpern, wenn sie von verschiedenen Medien umgeben sind, Versuche anzustellen, musste man die Körper in diese Media untertauchen, die, da ihr specifisches Gewicht unter einander verschieden ist, die Schwimmkraft eines und desselben Krystalls und demnach auch die Spannung des Torsionsdrahtes in verschiedenem Maasse beeinflussten. So würde ein Turmalinkrystall, der in Luft einen dem Gewichte von 40,4 Gran gleichen Zug auf den Draht ausübt, in Wasser ein Gewicht von 27,3 und in Phosphor ein Gewicht von nur 15,5 Gran haben. Da diese Aenderung den Werth des Torsionswinkels etwas ändern musste, so hängte ich an das untere Ende des Torsionsdrahtes (3369), d. h. 5,7 Zoll über dem Ort des Krystalls und der Magnetpole compensirende Gewichtsstücke aus reinem Kupfer.

3373. *Wismuthkrystall.* — Ein Stück gleichförmig krystallisirten Wismuths, das in die Gestalt eines achteckigen Prismas von 0,45 Höhe und etwa 0,28 Zoll mittlerem Durchmesser gebracht wurde, und dessen Gewicht 77 Gran betrug, hatte bei verticaler Aufhängung seine Magnekrystallaxe horizontal und stellte sich demnach in dem magnetischen Felde zwischen den 1 Zoll von einander abstehenden flachen Seiten der Anker (3368) ein. Der Torsionsfaden bestand in diesem Falle aus einem nur 5 Zoll langen Bündel von

zehn Coconfasern. Die Temperatur betrug 68^0 Fahr. Die Torsion zwischen den Umschlagepunkten in folgenden vier Medien von sehr verschiedenem magnetischen Verhalten betrug für

	^{0}
Luft	2250
absoluten Alkohol	2269
Wasser	2230
gesättigte Lösung von Eisenvitriol . .	2234.

In einer anderen Reihe von Versuchen wurde Kohlensäuregas mit Wasser und Alkohol verglichen; das Resultat war hierin dasselbe.

3374. Um auch ein stark diamagnetisches Medium in die Versuchsreihe einzuschliessen, wandte ich Phosphor an; da jedoch die zum Schmelzen desselben erforderliche Wärme hinreichend ist, die magnetische Kraft des Wismuthkrystalls zu ändern (3399), so musste er mit Wasser von derselben Temperatur verglichen werden; es geschah dies bei der Temperatur von 160^0 Fahr. Die Resultate waren folgende: Torsionskraft in Wasser 1945^0, in geschmolzenem Phosphor 1950^0, und können demnach als gleich betrachtet werden.

3375. Die als umgebende Media angewandten Flüssigkeiten waren in weiten, dünnen Glasröhren enthalten, die sich in dem Kupfertrog befanden, gegen den die Magnetpole ruhten (3368). Die Anwendung des Phosphors erforderte grosse Sorgfalt. Derselbe war mit Wasser bedeckt, und wenn das Wismuth durch das Wasser in den Phosphor eintrat, so erlitt es, obwohl vom Phosphor nicht benetzt, von diesem eine geringe Einwirkung und bedeckte sich mit einigen kleinen Glasblasen. Bei späteren Versuchen zeigte sich diese Erscheinung bei demselben Krystall nicht. Der Phosphor musste übrigens auch vollkommen rein und gut sein. Es bilden sich darauf, namentlich an der Berührungsstelle mit dem Wasser, Häutchen, welche an dem Aufhängungsdraht haften und die Schwingungen des untergetauchten Krystalls hemmen und unsicher machen. Sehr reichlich entstehen diese Häutchen bei Gegenwart der kleinsten Menge verbrannten Phosphors. Sobald sie auftraten, wurde der Phosphor durch frischen reinen ersetzt.

3376. Aus diesen und vielen anderen nicht beschriebenen Ergebnissen folgt, dass die differentielle Magnekrystallkraft, d. i. die Beziehungen der magnetischen Kraft in verschiedenen Richtungen bei einem Wismuthkrystall durch grosse Verschiedenheiten im magnetischen Charakter des umgebenden Mediums nicht geändert werden, da sie in Phosphor, Alkohol, Wasser, Kohlensäuregas, Luft und Eisenvitriollösung, also in diamagnetischen und paramagnetischen Substanzen die nämlichen bleiben.

3377. *Turmalin.* — Als Paramagnekrystall, also im Gegensatz zum Wismuth, wurde ein schwarzer Turmalin von regelmässiger Form und nahezu 0,37 Zoll Durchmesser gewählt. Davon wurde ein 40,4 Gran schweres, 0,36 Zoll langes Stück mit flachen Enden von 3,076 specifischem Gewicht abgeschnitten. Zwischen den flachseitigen Polen so aufgehängt,

dass die Axe des Prismas horizontal war, stellte sich diese, vermöge der Differential-Magnekrystallkraft kräftig in äquatorialer Richtung ein. Bei Anwendung eines seidenen Aufhängungsfadens (3369) war die zum Umschlagen erforderliche Torsionskraft folgende:

	Temp.	Torsionskraft
In Luft	57^0	2534
In Alkohol	56	2546
In Wasser	56	2541
In gesättigter Eisenvitriollösung	57	2632.

3378. Diese Resultate zeigen zur Genüge, dass die Torsionskraft und demnach die Differential-Magnekrystallkraft bei derselben Temperatur von der Natur des umgebenden Mediums unabhängig ist. Um hierüber noch grössere Gewissheit zu erlangen, wandte ich den feinen silbernen Torsionsdraht (3369) an und erhielt folgende Resultate:

	Temp.	Torsionskraft
Wasser	65^0	1082
Olivenöl	65	1085
Alkohol	65	1081
Luft	65	1079
Gesättigte Lösung von Eisenvitriol	65	1081.

Dieselben beweisen hinlänglich, dass die Magnekrystallkraft, trotz der grossen Verschiedenheiten des Charakters der umgebenden Media, dieselbe blieb. Der Winkel zwischen den Umschlagepunkten betrug 90^0, er wurde jedoch nicht von den Versuchsergebnissen abgezogen, da diese Correction den Charakter derselben nicht geändert haben würde.

3379. Das natürliche *kohlensaure Eisenoxydul* ist stark magnekrystallisch und als Ganzes auch stark paramagnetisch. Einem Rhomboëder desselben, mit seiner grössten Länge vertical und mit seiner kürzesten Axe horizontal gestellt, wurde durch Abschleifen der Seiten die rohe Gestalt eines achteckigen Prismas gegeben, dessen Höhe 0,6 Zoll, dessen mittlere Breite 0,37 Zoll und dessen Gewicht 47,5 Gran betrug. Die Magnekrystallaxe lag horizontal. Die magnetische Kraft dieses Krystalls war so gross, dass, obwohl der feine silberne Torsionsdraht (3369) angewandt wurde, die Polschuhe bis zu dem Abstande der Magnetschenkel, also 4,7 Zoll von einander entfernt werden mussten, ehe die Torsionskraft so weit reducirt war, um die *Einstellung* des Krystalls zu bewältigen. Die Kraft des Magnets durch einen eisernen Querstab an den Seiten zu schwächen, hielt ich nicht für einwurfsfrei, da der Stab während der Versuche möglicherweise mehr oder weniger magnetisirt werden und so die Intensität des magnetischen Feldes einigermassen veränderlich machen konnte. Als der Krystall nach einander in verschiedene Media bei der Temperatur von 66^0 Fahr. gebracht wurde, erhielt man folgende Resultate:

In Wasser . . . . . 542 Torsion,
In Luft . . . . . 543 Torsion,
In gesättigter Eisenvitriollösung . 542 Torsion,

welche Resultate mit den früher erhaltenen vollkommen übereinstimmen.

3380. Das *rothe Blutlaugensalz*, ein Salz von prismatischer Gestalt, stellt sich sehr kräftig im magnetischen Felde ein, wenn die Axe des Prismas horizontal und die durch die stumpfen ebenen Winkel gelegte Ebene vertical ist. Ein Krystall, dessen Länge und Breite einander beinahe gleich gemacht wurden, und der daher wenig oder gar keine paramagnetische oder diamagnetische Einstellung zeigte (denn das Salz ist in Luft sehr schwach paramagnetisch), lieferte im magnetischen Felde zuerst von Luft, dann von Camphin umgeben, folgende Resultate: In Luft betrug die Torsionskraft 314, in Camphin 316; wir haben also hier eine sehr genaue Uebereinstimmung mit den früher erlangten Resultaten.

3381. Somit fänden sich die älteren Schlüsse (2499—2501) bestätigt: Die Grösse der unter dem Einfluss des Magnetismus in einem Magnekrystall in verschiedenen Richtungen hervorgerufene Kraft scheint nicht verschieden zu sein, von welcher Natur auch das umgebende Medium und wie gross auch der Unterschied in dem paramagnetischen und diamagnetischen Charakter der Krystalle oder der angewandten Media sein mag; waren ja die Krystalle von solcher Verschiedenheit, wie eben Wismuth und Eisencarbonat, und die Media so verschieden, wie eben Phosphor und gesättigte Eisenvitriollösung!

3382. Theoretisch müssen jedoch kleine Unterschiede auftreten, und zwar müssen sie zufolge meiner Ansicht von den Kraftlinien, als wahren Repräsentanten der magnetischen Kraft, folgender Art sein. Wenn ein Magnekrystall der Wirkung eines constanten Magnets ausgesetzt ist, während das magnetische Feld und der ganze Raum ringsum den Magnet zuerst von einem und demselben Medium wie Luft erfüllt ist, und dann ein kleiner Theil des Feldes um den Krystall von einem anderen Medium eingenommen wird, wie in den beschriebenen Versuchen, so muss dieses Medium, falls es ein besserer Kraftleiter, d. h. stärker paramagnetisch ist als ersteres, mehr Kraft nach dieser Stelle hin lenken. Dieser Kraftzuwachs würde derselbe sein, wie wenn ein stärkerer Magnet angewandt worden wäre, und so müsste der Magnekrystall eine Aenderung zeigen, wie wenn er eine stärkere Einwirkung erlitte als zuvor, und seine Differentialkraft müsste in zwei Richtungen grösser erscheinen. Würde andererseits der Theil des Mediums ringsum den Krystall durch ein stärker diamagnetisches Medium, d. h. durch einen schlechteren Leiter ersetzt, so würde in dieser Richtung weniger Kraft hindurchgehen, und der Magnekrystall würde schwächer erscheinen als zuvor und sich mit geringerer Kraft einstellen. Selbst die Gestalt dieser partiellen Substitutionen würde von Einfluss sein, je nachdem sie in axialer oder äquatorialer Richtung ausgedehnt wären.

3383. Wenn jedoch das *ganze* im Bereiche der Magnetkräfte liegende Medium auf einmal vertauscht würde und nicht bloss der Theil ringsum den Krystall im magnetischen Felde, so würde das neue Medium, wenn es ein stärker paramagnetisches, also besser leitendes wäre, eine entgegengesetzte Wirkung haben, so dass der Magnekrystall schwächer afficirt erschiene, da die Kraft überall (verhältnissmässig) stärker durchgelassen werden würde, als durch ihn. Dagegen würde ein stärker diamagnetisches Medium den umgekehrten Effect haben, die Kraft würde überall weniger durchgelassen werden als durch den Krystall, so dass die eigene Kraft des letzteren verstärkt zu sein scheinen würde. Ich nehme an, dass der Magnetismus des Magnets unveränderlich ist und daher in allen Fällen nach aussen hin die nämliche Kraft ausüben *muss*, und aus Allem schliesse ich, dass diese Wirkungen so klein sind, dass sie sich nur bei Medien, die weit mehr von einander abwichen als die, welche wir gegenwärtig zur Verfügung haben, beobachten liessen. Ich habe auch jetzt den Eindruck, dass die Hypothese von magnetischen Fluidis mit den neben einander bestehenden paramagnetischen und diamagnetischen Erscheinungen nicht vereinbar ist, indess mögen Betrachtungen wie die obigen gute Dienste leisten, um Hypothesen ihre richtige Stelle anzuweisen und sie auf ihren wahren Werth zurückzuführen.

3384. Die Fähigkeit eines Magnekrystalls, im magnetischen Felde ein Maximum an Leitung in einer gegebenen Richtung anzunehmen, ist ähnlich dem Verhalten einer permanent magnetisirten Kugel, und deshalb wird er sich, wie diamagnetisch er auch sei und eine wie schwache magnekrystallische Beschaffenheit er auch habe, doch in einer bestimmten Richtung einstellen, d. h. mit seiner Hauptmagnekrystallaxe [1]) parallel zur magnetischen Axe des Feldes, selbst wenn er von einem flüssigen Medium umgeben wäre, dessen Paramagnetismus dem des Eisens gleich wäre. Und hier möchte ich eine Aeusserung berichtigen, die ich mir in einer früheren Reihe dieser Untersuchungen (3158) zu machen erlaubt habe, dass nämlich „eine gewöhnliche Magnetnadel in einem Felde von gleichförmiger Intensität keine Polarität zeigen könne“. Sie kann natürlich nicht neben einem Felde von gleichförmiger Intensität existiren, denn sie selbst würde die Gleichförmigkeit der Intensität zerstören, wenn nicht das sie umgebende Medium Eisen wäre von ebenso hoher paramagnetischer Kraft als sie selbst. Aber selbst in diesem Falle würde sie Polarität zeigen, wenn sie abgelenkt würde, denn ihre magnetische Axe würde qualitativ einer Hauptmagnekrystallaxe entsprechen und würde stets in der entsprechenden Richtung einstehen oder pointiren, d. h. sich axial im magnetischen Felde einstellen.

---

[1]) Thomson on Magnecystallic Axis, Philosophical Magazine, 1851, vol. I, p. 177.

3385. Magnekrystalle können ebenso gut wie Nadeln zur Messung magnetischer Kräfte angewandt werden, sind aber von manchen Gesichtspunkten aus theoretisch genauer. Ein Magnekrystall ist in allen seinen Theilen von gleicher Beschaffenheit; er scheint bei gleicher inducirender Kraft genau denselben Zustand anzunehmen und keine Coercitivkraft oder Fähigkeit, denselben zurückzubehalten, zu besitzen, wogegen die Kraft einer Nadel sich unter Einfluss der Inductionswirkung leicht ändert und die Rückkehr in den früheren Zustand beim Verschwinden dieser Wirkung unbestimmt ist. Da er auch von dem umgebenden Medium unabhängig ist, so dürfte ein Magnekrystall in manchen Fällen durch den Betrag der zu seiner Ablenkung erforderlichen Torsion ein zuverlässigeres und sichereres Kraftmaass darbieten.

3386. Dass Magnekrystalle in verschiedenen Richtungen mit verschiedener Kraftintensität angezogen oder abgestossen werden, ist längst von mir selbst (2841) und Anderen nachgewiesen worden. Da der Intensitätsunterschied bei Aenderung des umgebenden Mediums constant bleibt (3381), so ergiebt sich die Möglichkeit, einen Magnekrystall und ein zu demselben in solcher Beziehung stehendes Medium zu finden, dass die Anziehung und Abstossung des Krystalls im Ganzen vertauschbare Grössen und von der Lage des Krystalls in Bezug auf die Kraftlinien abhängig seien. Ich wünschte diesen Schluss experimentell zu verificiren, namentlich für den Fall, dass der Krystall sich im leeren Raume befindet; ich wählte daher gewisse Krystalle, welche günstige Resultate versprachen, und erhielt folgende Aufschlüsse.

3387. Der schon früher angewandte *Turmalin*krystall (3377) erwies sich als paramagnetisch nicht bloss in Wasser und Luft, sondern auch in einer gesättigten Lösung von Eisenvitriol; indess liess ich diese Substanz einstweilen bei Seite, obschon der Unterschied in der Stärke ihrer Anziehung in allen diesen Medien je nach ihrer Lage sehr auffallend war.

3388. *Rothes Blutlaugensalz*, das in Wasser oder Camphin angezogen ward, wurde in der Eisenlösung abgestossen und versprach daher das gewünschte Resultat zu geben, wenn es vor der Einwirkung wässeriger Lösungen geschützt werden könnte.[1]) Einige gute, ausgewählte Krystalle wurden so weit abgeschliffen, dass sie nur wenig länger als breit waren; alsdann wurden die Ecken beseitigt, so dass die Krystalle eine abgerundete Gestalt hatten. Sie wurden an 6 Zoll langen Kupferdrähten (3370) auf-

---

[1]) Das Firnissen der Krystalle bietet keinen Schutz; in Wasser löst sich das Salz durch alle Theile des Ueberzuges hindurch; denn da sie in Alkohol löslich sind, so ist der Ueberzug ein Gemenge von Harz und dem Salz. In Eisenlösung löst sich diese Substanz in sehr interessanter Weise, sei es, dass sie ungeschützt oder unvollkommen überzogen ist.

gehängt, so dass die Axe des Krystallprismas in der Horizontalebene lag und zwar nach Belieben in axialer oder äquatorialer Richtung des magnetischen Feldes. Die Krystalle wurden in geschmolzenes Wachs, das über seinen Schmelzpunkt erhitzt wurde, getaucht und darin gelassen, bis ihre Temperatur die des Schmelzpunktes überschritten hatte, dann herausgezogen und sorgfältig aufgehängt. Späterhin wurde so verfahren, dass die kalten Krystalle in ein Bad von theils flüssigem theils festem Wachs schnell eingetaucht und herausgezogen wurden, so dass sie mit einer erstarrenden Wachshaut überzogen waren, die nach wenigen Minuten eine dichte Hülle bildete. Nach Verlauf einiger Stunden konnten sie in Wasser oder eine Eisenlösung eingetaucht und mehrere Tage darin gelassen werden, ohne dass sie eine Einwirkung von dem umgebenden Medium erlitten. Kein Firniss konnte sie so schützen.

3389. Ich construirte mir eine kleine Torsionswaage mit einem einzigen Coconfaden. Der Hebelarm, der den Krystall tragen sollte, war am Ende rechtwinklig umgebogen, so dass der Krystall in zwei zu einander rechtwinkligen Lagen daran aufgehängt werden konnte. Der Krystall war an dem anderen Arm des Waagebalkens äquilibirt und die Waage selbst mit einer Glasglocke bedeckt, um Luftströmungen abzuhalten. Der Krystall hing über den Rand der Glocke hinab in ein Gefäss, welches an dem einen Pol eines grossen Elektromagnets (2247) aufgestellt war, und so konnte er von dem Medium umgeben werden, in dem sein Verhalten beobachtet werden sollte. Der Anker endete entweder in einem Kegel oder einer aufrechten Kante oder einer Fläche von 1,5 Quadratzoll. Am besten war die Anwendung des Kegels, da der Krystall so dem Pol bis auf die Glasdicke des Gefässes genähert werden konnte.

3390. Ich stellte eine gesättigte Lösung von Eisenvitriol bei 64^0 F. her und setzte ihr, um eine Trübung bei Zusatz von Wasser zu verhüten, ein wenig Schwefelsäure zu. Diese mehr oder weniger verdünnte Lösung wurde in das Glasgefäss gegossen, und wenn sie zur Ruhe gekommen, der Krystall an die Waage gehängt und in die Nähe des Poles gebracht; hierauf wurde der Magnet durch eine Volta'sche Batterie erregt und der Effect beobachtet. Fiel die Axe des Prismas mit der magnetischen Axe zusammen, so wurde der Krystall in allen Lösungen, die concentrirter waren als eine, die aus etwa elf Raumtheilen der gesättigten Lösung und sechs Wasser bestand, abgestossen, in schwächeren angezogen, und die Stärke der Anziehung und Abstossung änderte sich natürlich mit der Aenderung des Mediums. Lag die Axe des Krystalls äquatorial, d. h. fiel die Hauptmagnekrystallaxe mit der magnetischen Axe des Feldes zusammen, so wurde der Krystall in allen Lösungen, die stärker waren als eine, die auf achtzehn Volumina der gesättigten Lösung sechs Volumina Wasser enthielt, abgestossen. Es ist hiermit ein Medium gegeben, in welchem, wenn seine Concentration durch Zusatz von zwei oder drei Raumtheilen der gesättigten

Lösung auf ein Volumen Wasser geändert wird, der Krystall in der einen Lage angezogen und in der anderen abgestossen wird, und eine Mischung von vierzehn bis fünfzehn Volumina der Lösung mit sechs Wasser bildet, wie sich erwarten liess, ein Medium, in welchem die Anziehung und Abstossung einander nahezu gleich waren. Es war ganz leicht, in allen diesen Medien eine Lage des Krystalls (durch Drehung desselben um seine verticale Axe) zu finden, in welcher er weder angezogen noch abgestossen wurde. Ein zweiter und ein dritter Krystall gaben an der Waage genau dieselben Resultate.

3391. Die Krystalle des *rothen Blutlaugensalzes* sind so paramagnetisch, dass sie in allen Lagen im Raume angezogen werden. Ich wandte mich daher zum *Kalkspath*, der, wiewohl in Luft diamagnetisch, es doch nicht nothwendig überall im Raume ist, da die Luft ihres Sauerstoffgehaltes wegen ein magnetischer Körper ist (2791). Mit einer Kalkspathkugel, die ich von W. Thomson erhalten habe, stellte ich zuerst Versuche in Wasser an und fand, dass sie angezogen wurde, ihre optische Axe mochte äquatorial oder axial in Bezug auf das magnetische Feld liegen, obschon im ersteren Falle stärker als im letzteren. Folglich ist der Körper weniger diamagnetisch als Wasser und nähert sich somit dem Vacuum. Um ihn mit einem Vacuum zu vergleichen, wandte ich Kohlensäure als Medium an[1]), fand aber, dass er in beiden Lagen abgestossen wurde; folglich kann seine Differential-Stellung als Magnekrystall nicht die im Raume ausgeübte magnetische Kraft umfassen.

3392. In Alkohol wird diese Kugel in allen Lagen abgestossen; es würde daher leicht sein, durch Zusatz von Alkohol oder etwas Eisenlösung zu Wasser, eine Flüssigkeit zu erhalten, deren Kraft intermediär wäre zwischen den Kräften der Kugel in ihren beiden Lagen.

3393. Allein wiewohl reiner Kalkspath sich nicht wie der leere Raum verhält, so ist es doch wahrscheinlich, dass sich derartige Krystalle werden ausfindig machen lassen. Ich besitze verschiedene Exemplare von Kalkspath mit einem geringen Eisengehalt, die magnekrystallisch sind und sich im magnetischen Felde mit der optischen Axe axial einstellen, wie es Tyndall und Knoblauch beschreiben.[2]) Im Ganzen werden sie in jeder Lage angezogen, gleichviel ob sie von Luft oder Kohlensäure umgeben sind (in letzterer jedoch stärker als in ersterer), und wenn sie sich frei drehen können, so stellen sie sich selbst in Eisenlösungen mit der optischen Axe axial. Es scheint indess kein Grund vorhanden zu sein, weshalb es nicht zwischen diesen und der Kugel intermediäre Krystalle geben sollte, noch auch kann es zweifelhaft sein, dass sie, wenn sie krystallisirt wären, magnekrystallisch sein würden. Die noch ferner aus der Hypothese sich ergebenden

---

[1]) Royal Institution Proceedings, 21. Jan. 1853, p. 233; oben p. 461.
[2]) Philosophical Magazine, 1850, vol. XXXVI, p. 178.

Muthmassungen sind jedoch nicht ganz klar, insofern als wir ohne weitere Versuche nicht ganz sicher sind, ob wir solche Körper in magnetischer Hinsicht als einfach ansehen sollen, oder ob die optische Axe sich stets entweder axial oder äquatorial stellen werde, je nachdem der Körper in Bezug auf den Raum paramagnetisch oder diamagnetisch wäre, oder ob der Körper ganz aus der Reihe der Magnekrystalle verschwinden würde. Denn gesetzt, die allgemeine magnetische Beschaffenheit eines solchen Körpers wäre (beispielsweise im pulverisirten oder amorphen Zustande) ganz dieselbe wie die der Kohlensäure oder des leeren Raumes, wäre im krystallisirten Zustande magnekrystallisch und würde sich in Gestalt einer Kugel, sie mag von Wasser oder Kohlensäure oder Eisenlösung umgeben sein, den oben (3381) mitgetheilten Resultaten gemäss, stets in derselben Richtung und mit derselben Intensität einstellen, — welche Richtung würde die optische Axe einer solchen Kugel einnehmen? Sie kann weder die des reinen Kalkspaths noch die der kleinen eisenhaltigen Kalkspathrhomboëder einnehmen, da sie im Magnetfelde rechtwinklig zu einander sind; auch sieht man nicht ein, warum sie die eine mehr als die andere einnehmen sollte. Gern würde ich glauben, dass aus der Untersuchung dieses Gegenstandes manche werthvollen Betrachtungen und Argumente hinsichtlich des wahren Nullpunktes der magnetischen Kraft sich ergeben möchten, allein die obigen Resultate mit verschiedenen Medien lassen mich fürchten, dass eine eingehendere experimentelle Untersuchung zeigen wird, dass der Gegenstand von geringerer Wichtigkeit ist. Etwas weiter wird dieser Gegenstand in Bezug auf die Temperatur geführt (3416); denn wenn wir einen wahren Nullpunkt als unabhängig von der Temperatur betrachten, dann kann die eine Temperatur so gut wie die andere für denselben genommen werden, und man wird sehen, dass wir in dem eisenhaltigen Kalkspath, der also eine Mischung darstellt, einen Körper haben, der bei einer bestimmten Temperatur als nicht magnekrystallisch in Kohlensäure angesehen werden kann, während er bei höheren Temperaturen magnekrystallisch ist wie kohlensaurer Kalk und bei niederen wie kohlensaures Eisenoxydul.

§ 39. Einfluss der Wärme auf Magnekrystalle.

3394. Die Wärme beeinflusst die Stärke und am Ende auch die Vertheilung der in Magnekrystallen inducirten Kräfte (2569—2573). Man kennt bisher wenig oder gar keine experimentellen Untersuchungen hierüber, und daher dürfte folgender Beitrag für Temperaturen zwischen 0^0 und 300^0 F. nicht unwillkommen sein. Es waren einige neue Einrichtungen des Apparates hierzu erforderlich, indess dürfte folgende kurze Beschreibung derselben genügen.

3395. Von den zur Uebermittelung der Wärme und Kälte erforderlichen Bäder bestand ein häufig angewandtes aus einem Kupfergefäss von 1,15 Zoll Breite in Richtung der magnetischen Axe, 3,5 Zoll Länge und

7 Zoll Tiefe. Wenn es zwischen den Magnetpolen stand, so lagen diese entweder an ihm selbst an oder an dazwischen gestellten Klötzen, so dass der Abstand der Pole für eine bestimmte Zeit unverändert blieb. Der obere Theil war mit Flanell umhüllt und befand sich innerhalb des Waagekastens (3368), der untere Theil ging durch ein Loch des Magnettisches hindurch und konnte durch eine darunter gestellte Spirituslampe erhitzt werden. Um höhere Temperaturen zu erzielen, enthielt dieses Gefäss häufig Oel, zuweilen aber auch Wasser, auf das Oel gegossen wurde, um Verdampfung zu verhindern und Strömungen zu vermindern. Ein Thermometer an dem einen Ende dieses Bades liess die Temperatur desselben erkennen.

3396. Zur Aufnahme des den Krystall oder sonstigen magnetischen Körper umgebenden Mediums, entweder Camphin oder Wasser oder Oel, diente ein Kupfercylinder von 1,1 Zoll Durchmesser und 3 Zoll Höhe, dessen Boden geschlossen und dessen oberer Rand erweitert war, so dass er auf dem Rande des Bades ruhen konnte. Es kam darauf an, die in der Flüssigkeit sowohl bei der Erwärmung als auch bei der Abkühlung nothwendig sich bildenden Strömungen um den zu beobachtenden Gegenstand möglichst zu verringern, und durch die beschriebene Anordnung wurde dieser Zweck ganz gut erreicht. Auch musste die in diesem Cylinder benutzte Flüssigkeit sehr rein und frei von Fasern und anderen Verunreinigungen sein, um die Bewegung des eingetauchten Gegenstandes nicht zu hindern.

3397. In Folge der relativen Lage des Thermometers und des zu beobachtenden Körpers wird offenbar ersteres bei steigender Temperatur wärmer, bei sinkender Temperatur kälter sein als letzterer. Der Einfluss dieses Umstandes machte sich in vielen Versuchen bemerkbar (3408), da jedoch die Erkaltung viel langsamer und weit regelmässiger vor sich ging als die Erwärmung, so wurden die Hauptbeobachtungen bei sinkender Temperatur gemacht. Die grösste Fehlerquelle lag in den Strömungen und sie liess sich nur durch langsame und zahlreiche Beobachtungen, und auch dann nur theilweise, bewältigen. Von diesen Strömungen wurden oft gewisse Richtungen bevorzugt, welchem Umstande man jedoch grossentheils dadurch begegnen konnte, dass man in zwei Lagen, nämlich in den Umschlagepunkten beobachtete. Für niedrigere Temperaturen benutzte ich einen wohl in Flanell eingehüllten und mit einer vortrefflichen Kältemischung gefüllten kleineren Trog.

3398. *Wismuthkrystall.* — Der oben beschriebene Krystall (3373) wurde an die Torsionswaage gehängt und sein Umschlagewinkel beobachtet; er betrug 105^0 und blieb sich, wie wiederholte Beobachtungen zeigten, bei niedrigen und hohen Temperaturen gleich. Die Torsionskraft wurde erst bei gewöhnlicher, dann bei steigender und auch bei sinkender Temperatur gemessen und erwies sich bei derselben höheren Temperatur grösser, wenn diese im Steigen, als wenn sie im Sinken begriffen war. Wie eine eingehendere Untersuchung ergab, rührte dies davon her, dass die Torsions-

kraft um so grösser war, je niedriger die Temperatur des Wismuths war, und dass dieses, da es, wie oben erwähnt, seine Temperatur später erlangte als das Oel und das Thermometer im Bade, bei demselben Stande des Thermometers im ersteren Falle kälter war als in dem letzteren. So wie man die Abkühlung absichtlich langsam von Statten gehen liess, damit das Wismuth sich nahezu auf der vom Thermometer angegebenen Temperatur befinde und die Ströme in der Flüssigkeit schwächer seien, so wurden auch die Beobachtungen als die besten angesehen, die bei einer stationären oder sinkenden Temperatur gemacht wurden.

3399. Die folgende Tabelle enthält eine Beobachtungsreihe mit einem silbernen Torsionsdraht bei sinkender Temperatur. Der Krystall war von Oel umgeben. Der Umschlagewinkel ist obiger Darlegung zufolge (3367) abgezogen.

Temp.	Torsionskraft	Temp.	Torsionskraft	Temp.	Torsionskraft	Temp.	Torsionskraft
279° F.	82	225° F.	105	190° F.	118	152° F.	133
272	82	219	117	186	121	149	138
265	80	215	117	183	120	141	137
258	81	212	105	180	119	133	142
251	89	209	107	177	119	131	145
245	93	204	108	173	128	119	151
240	97	199	116	165	136	104	160
235	97	197	119	156	134	92	175
230	100	193	119				

Es ist zu bemerken, dass jede Zahl in der Columne Torsionskraft um 105 zu vergrössern ist, um den bei den Versuchen beobachteten Torsionswinkel zu erhalten. Die Beobachtungen bei 219^0 und 215^0 sind ohne Zweifel durch Strömungen beeinflusst, allein ich sehe absichtlich ab von dem, was zu erwarten gewesen wäre, und gebe sie, wie ich sie erhalten habe. Wenn man diese Zahlen graphisch darstellt (Tafel III, siehe Wismuthkrystall C), die Temperatur in der einen Richtung und die Torsionskraft senkrecht hierzu, so scheint die durch die so bestimmten Punkte gezogene mittlere Linie eine Gerade zu sein; wenigstens liegt in den Resultaten nichts, was die Behauptung rechtfertigte, dass innerhalb der Beobachtungsgrenzen die Aenderung der Kraft bei verschiedenen Temperaturen verschieden wäre. Die durch eine solche Linie dargestellte Kraft war bei 100^0 gleich 162 und bei 280^0 gleich 77; der gesammte Verlust innerhalb dieser Grenzen ist also 85 oder mehr als die Hälfte der Kraft bei der niederen Temperatur, mit anderen Worten, die durchschnittliche Aenderung für je 10^0 F. beträgt 4,7.

3400. Mit demselben Wismuthkrystall wurde eine andere Reihe von Beobachtungen gemacht, wobei derselbe von Wasser umgeben war. Einundsiebzig Beobachtungen wurden zwischen 40^0 und 207^0 angestellt und

ausserdem einige andere, mit Hülfe eines Kältebades zwischen 5^0 und 70^0, die in vollkommener Uebereinstimmung mit den ersteren waren. Die graphische Darstellung (siehe Tafel III, Wismuthkrystall A und B) giebt auch für diese Beobachtungen eine gerade Mittellinie, die sich den einzelnen Beobachtungen noch enger anschliesst als die obige. Die Kraft betrug 168 bei 5^0, 90 bei 207^0, 131 bei 100^0. Die gesammte Kraftänderung zwischen 5^0 und 207^0 macht 78 aus oder nahezu die Hälfte der Kraft bei 5^0; für je 10 Temperaturgrade beträgt sie 3,86, was dem vorigen Resultat genau entspricht, denn wenn man die Kraft auf die dem Krystall C entsprechende Scala umrechnet, so wird das Verhältniss 4,8.

3401. Man darf (ohne äusserste Sorgfalt) nicht erwarten, dass die Zahlen in den verschiedenen Beobachtungsreihen bei demselben Versuchsobject identisch werden. Die Vertauschung des Mediums, das in dem einen Falle Oel, in dem anderen Wasser war, hat aus den angegebenen Gründen (3381) keinen Einfluss; auch die etwa mit der Temperatur vor sich gehende Aenderung desselben ist ohne Einfluss; aber wohl würde eine Aenderung in dem Abstande der Magnetpole einen Einfluss ausüben, und ich zweifle nicht, dass in dem ersten Falle die Pole einander ein wenig näher lagen und daher die Kraft bei derselben Temperatur etwas grösser war. Es war auch befriedigend zu sehen, dass die beiden Mittellinien (wie der blosse Augenschein ergab) mit steigender Temperatur gegen einander convergirten. So ist bei 100^0 die Differenz der Torsionskraft 31, während sie bei 200^0 nahezu 21 beträgt; es ist also so, als ob sie bloss die Tangenten zu den Curven wären und bei viel höheren Temperaturen zusammenfielen oder nahezu parallel würden.

3402. Diese ersten Beobachtungen genügen, um zu zeigen, dass die Differential-Magnekrystallkraft des Wismuths mit der Temperaturerhöhung abnimmt, und zwar in bedeutendem Grade; dass dies in einer regelmässigen Progression geschieht, ohne dass innerhalb der angewandten Temperaturgrenzen ein Zeichenwechsel stattfände; dass die Progression innerhalb dieser Grenzen durch eine gerade Linie dargestellt wird oder vielmehr, wie man in Folge der Annäherung der Linien bei höheren Temperaturen annehmen darf, durch ein Stück einer grossen Curve, und dass die Wiederannahme der ursprünglichen Kraftintensität des Wismuths bei Wiederherstellung der ursprünglichen Temperatur eine vollkommene ist.

3403. Es ist von Wichtigkeit, nicht bloss den Einfluss der Temperatur auf einen Wismuthkrystall, als einen unter den verschiedenen Magnekrystallen, zu untersuchen, sondern auch die Aeusserung der magnetischen Kraft des Wismuths in diesem Zustande zu vergleichen mit den entsprechenden Aeusserungen für den Fall, dass das Metall sich in anderen Zuständen befindet, beispielsweise im verdichteten oder amorphen oder körnigen Zustande, in welchen Fällen es bloss als Diamagneticum afficirt wird. Ich comprimirte daher ein Stück körniges Wismuth in einer Richtung und

schnitt daraus ein kurzes quadratisches Prisma, welches, wenn es aufgehängt war, so dass die Drucklinie horizontal und zwei Seiten parallel lag, 0,5 Zoll hoch und 0,36 Zoll dick war. Diese Linie stellte sich im magnetischen Felde natürlich äquatorial, und daher konnte das Stück, das 128,5 Gran wog, in derselben Weise wie vorhin der Krystall (3398) dem Versuche unterworfen werden.

3404. Dieses comprimirte Wismuth war hierzu ganz geeignet, da der Unterschied der Torsionskraft gross genug war, um beobachtet werden zu können. Der Umschlagewinkel war 109^0 und nicht sehr constant, so dass Strömungen in dem umgebenden erhitzten Medium (Oel) die genaue Beobachtung hier mehr störten als bei dem Krystall. Dieses Resultat war am Ende zu erwarten; denn man kann nicht annehmen, dass die Linie der Compressionskraft in einem in der hydraulischen Presse so zusammengedrückten Stück Wismuth in allen seinen Theilen von gleicher Intensität und Richtung, und dieses daher in dieser Hinsicht einem Krystall vergleichbar sei. Die in Bezug auf den Umschlagewinkel corrigirten Resultate waren:

bei 70^0 F.	Torsionskraft	. .	157	
„ 121	„	„	. .	140
„ 157	„	„	. .	119
„ 194	„	„	. .	116
„ 211	„	„	. .	106

und sind auf der genannten Tafel graphisch dargestellt (siehe comprimirtes Wismuth D).

3405. Diese Beobachtungen stehen sonach wegen der Grösse des Wismuths und der Kraft des Magnets zwischen den vorher am Krystall erhaltenen und zeigen, wie die drei Resultate ihrer Natur und ihrem Sinne nach einander parallel gehen. Auch diese scheinen eine gerade Linie oder nahezu eine solche darzustellen. Die Kraft ist bei 70^0 gleich 159 und bei 210^0 nur 105, der Verlust für die Temperaturdifferenz von 140^0 beträgt also 54. Nehmen wir den Kraftverlust für gleiche Differenzen bei derselben Temperatur, so stimmen die Resultate sehr gut überein.

	Torsionskraft bei 90^0	Torsionskraft bei 207^0	Kraftverlust	
Wismuthkrystall A . .	135	90	. . 45 oder $^1/_3$	der Kraft bei 90^0.
Wismuthkrystall C . .	167	112	. . 55 oder $^1/_3$	
Comprimirtes Wismuth D	149	107	. . 42 oder $^1/_{3,5}$	

3406. Die Data für das comprimirte Wismuth sind gering an Zahl und liefern keine so guten Angaben wie die mit dem Krystall erhaltenen; die Resultate bilden jedoch eine Stütze der von Tyndall erhaltenen, dass die magnetische Kraft im comprimirten Wismuth, was ihre Vertheilung etc. betrifft, von genau derselben Natur ist wie im krystallisirten Wismuth.

Ich war bemüht, einen weiteren physikalischen Beweis von anderer Art, aber demselben Sinn zu erhalten, indem ich krystallisirtes und comprimirtes Wismuth der langsam lösenden Wirkung verdünnter Salpetersäure unterwarf; allein obschon sich in beiden Fällen Anzeichen einer krystallinischen Structur zeigten, so sind sie doch nicht deutlich oder befriedigend.

3407. *Turmalin.* — Der bereits beschriebene (3377) Krystall dieser Substanz, der paramagnetisch ist, wurde nun der Wirkung der Wärme ausgesetzt; sein Umschlagewinkel betrug 90^0. In einer Beobachtungsreihe zwischen Temperaturen von 39^0 bis 206^0, welche in der die Messungen wiedergebenden Tafel als „Turmalinkrystall I“ bezeichnet ist, befand sich der Krystall in Wasser. Bei einer zweiten Beobachtungsreihe, die daselbst als „Turmalinkrystall K“ wiedergegeben ist, zwischen den Temperaturen 79^0 bis 289^0, befand sich dieser Krystall in Oel. Bei einer dritten Reihe zwischen den Temperaturen 7^0 bis 69^0, die als „Turmalinkrystall L“ bezeichnet ist, befand er sich in Kochsalzlösung. Bei der Wiedergabe dieser Resultate sind nicht die für die Torsion wirklich erhaltenen Zahlen in Rechnung gebracht, die, obschon der silberne Torsionsdraht angewandt wurde, Torsionswinkel von 640 bis 1200 Graden darstellen, sondern die durch den Versuch erhaltenen Zahlen sind dem angenommenen Maassstab der Tafel entsprechend reducirt worden. Man wird natürlich bemerken, dass die Einzeichnungen in dem Diagramm keine absolute Vergleichung zwischen verschiedenen Körpern ermöglichen, dass dies auf einer Tafel wie die vorliegende für gleiche Volumina oder Gewichte der Substanzen nicht möglich ist, auf der vielmehr nur Einzelresultate für jeden Körper für sich während der Temperaturänderung unter unverändert bleibender Magnetkraft und unverändertem Maass der Torsionskraft dargestellt sind.

3408. Das Voraneilen des Thermometers vor der Temperatur des Versuchskörpers (3397) tritt hier in den ersten Beobachtungen von K sehr deutlich hervor. Die Progression der Zahlen zeigt sich sowohl bei steigender als auch bei sinkender Temperatur im Allgemeinen gut. Die magnetische Kraft im Krystall nimmt mit Zunahme der Temperatur beständig ab; ein Zeichenwechsel findet nicht statt. Der Kraftverlust zwischen 7^0 und 289^0 beträgt nahezu die Hälfte der Kraft des Krystalls bei der niedrigeren Temperatur, also fast eben so viel als er bei der höheren Temperatur behält. Bei der Zurückführung auf eine niedrigere Temperatur nimmt die Kraft wieder genau ihren ursprünglichen Werth an. Eine bleibende Störung der specifischen magnetischen Capacität oder irgend etwas einer magnetischen Ladung Aehnliches geht nicht vor sich. Der Verlust findet nicht in arithmetischer Progression statt, sondern ist für eine gleiche Anzahl von Graden bei niedrigeren Temperaturen grösser als bei höheren und lässt sich am besten durch eine regelmässige Curve als Mittellinie darstellen. Die beiden Hauptreihen stimmen sehr gut mit einander überein und mit ihnen ist die dritte Reihe bei niedrigen Temperaturen in naher

Uebereinstimmung. Der Kraftverlust bei niedrigen Temperaturen, beispielsweise bei 0^0, ist für eine gleiche Temperaturerhöhung dreimal so gross als für Temperaturen um 270^0 oder 280^0 herum.

3409. Die Rückkehr dieses und anderer Krystalle in ihren anfänglichen Zustand bei Wiederherstellung der ursprünglichen Temperatur, im Verein mit den Beobachtungen am Eisen, Nickel u. s. w. (3424), zeigt, dass der Magnet als Kraftquelle bei der Temperaturänderung von 0^0 bis 300^0 im magnetischen Felde unverändert blieb.

3410. Als dieser zwischen den Polen des grossen Elektromagnets aufgehängte Turmalinkrystall (3377) durch eine Spirituslampe zu heller Rothgluth erhitzt wurde, stellte er sich, wiewohl mit geringerer Intensität, mit seiner Axe deutlich äquatorial; die hohe Temperatur beraubte ihn also nicht seines magnekrystallischen Charakters, und beim Erkalten kehrte er in seinen anfänglichen höheren Zustand zurück. Bei einer früheren Gelegenheit fand ich, dass ein ähnlicher, kurzer, dicker, schwarzer Turmalinkrystall bei Erhitzung mit einer Spiritusflamme einen Theil seiner Kraft verlor, beim Erkalten jedoch sehr stark magnetisch wurde, sich axial einstellte und kräftig angezogen wurde. Diese letztere Wirkung liess sich auf die Gegenwart einer kleinen Menge Eisenoxyd an einer Stelle des Krystalls zurückführen, welches durch den Dampf und die Wärme der Spirituslampe zu Oxydul oder zu einer noch niedrigeren Stufe reducirt wurde. Durch Digestion mit Chlorwasserstoffsäure wurde das Eisen fortgeschafft, worauf der Krystall seinen anfänglichen Zustand wieder annahm. Diese Thatsache zeigt, dass eine Temperatur, welche das Eisen oder dessen Oxydul seiner hohen paramagnetischen Eigenschaften beraubt, nicht im Stande ist, den besonderen Zustand des Turmalins als Magnekrystall zu zerstören.

3411. *Kohlensaures Eisenoxydul.* — Der oben (3379) beschriebene Krystall dieser Substanz wurde in einem Oelbad aufgehängt und auf Temperaturen von 4^0 bis 293^0 gebracht. Sein Umschlagwinkel war 96^0. Die Resultate sind in dem Diagramm mit F bezeichnet. Eine andere Reihe von Beobachtungen zwischen 0^0 und 60^0, die diesen hinzugefügt wurden, ist mit G bezeichnet. Das Ganze bildet eine sehr übereinstimmende Reihe von Beobachtungen und zeigt einen mit der Temperaturerhöhung fortschreitenden Kraftverlust, und zwar ist derselbe bei niederen Temperaturen viel grösser als bei hohen und im Ganzen zwischen den angewandten Temperaturgrenzen sehr gross. Für eine gleiche Anzahl von Graden ist der Kraftverlust bei etwa 0^0 und 32^0 viermal so gross als bei 280^0. Die ganze Kraft ist 135 bei 300^0 und 380 bei 0^0, also nahezu dreimal so gross.

3412. Wenn krystallisirtes kohlensaures Eisenoxydul an der Luft oder in Oel bis zu einer gewissen hohen Temperatur oder darüber hinaus erhitzt wird, so zerspringt es fast mit Sicherheit jedesmal in Stücke wie eine Glasthräne. Mit einiger Ausdauer vermochte ich jedoch unter den grösseren

Bruchstücken, in die es unter Oel zersprungen war; drei auszulesen, die durch eine Spiritusflamme bis zur Rothgluth erhitzt werden konnten. Unterhalb einer sehr dunkeln Rothgluth waren diese Krystalle *stets* magnekrystallisch, bei niederer Temperatur stärker als bei höherer; mit sinkender Temperatur erlangten sie ihre ursprüngliche Kraft wieder und büssten davon ein, wenn die Temperatur gesteigert wurde, und dies zu wiederholten Malen. Wurde die Temperatur noch weiter gesteigert und eine Minute oder länger unterhalten, so hörte der Krystall auf magnekrystallisch zu sein und verlor fast gänzlich seine magnetische Eigenschaft; wurde er aber unter eine gewisse Temperatur abgekühlt, so wurde er stark magnetisch; es zeigte sich, dass er seine Kohlensäure verloren hatte und in magnetisches Eisenoxyd umgewandelt worden war.

3413. *Kohlensaurer Kalk.* — Die Kalkspathkugel war von verhältnissmässig so schwacher magnetischer Kraft, dass sie bei Anwendung eines metallischen Torsionsdrahtes und des Logeman'schen Magnets keine genügende Wirkung gab; einen Seidenfaden anzuwenden, wäre unsicher gewesen. Eine sehr hohe, bis zum vollen Rothglühen reichende Temperatur (die höchste, auf die eine Spiritusflamme ein kleines Rhomboëder bringen konnte) nahm dem Kalkspath nicht seine magnekrystallische Eigenschaft und hinderte ihn nicht, sich mit seiner optischen Axe äquatorial zu stellen; denn wiewohl die Hitze hinreichte, den Krystall (zu dem der Wasserdampf der Flamme Zutritt hatte) oberflächlich in Aetzkalk zu verwandeln, so behielten doch die inneren Krystalltheile ihre magnekrystallische Richtkraft und zogen die veränderten Theile mit sich. Diese Beharrlichkeit, verbunden mit dem schwachen magnekrystallischen Zustande des Krystalls bei gewöhnlicher Temperatur, zeigt, dass die Kraft bei einer Steigerung der Temperatur von 0^0 bis 300^0 sehr langsam und sehr wenig abnehmen würde.

3414. Ein Krystall von *rothem Blutlaugensalz* an der Luft oder in Oel erhitzt, zerspringt bei einer gewissen hohen Temperatur in Stücke; unterhalb derselben behält er jedoch seinen magnekrystallischen Zustand ungeändert, nur dass er sich bei höheren Temperaturen mit geringerer Kraft einstellt als bei niedrigen.

3415. Der früher beschriebene *eisenhaltige Kalkspath* (3393) gab Anlass zu einigen sehr merkwürdigen Untersuchungen. Es schien wahrscheinlich, dass das Eisen in dem Krystall während der Einwirkung der Wärme in seinem chemischen Verbindungszustande verbleiben würde, wenn der Krystall im Ganzen bei den hohen Temperaturen seine Integrität bewahrte. In diesem Falle war es, weil der Kalkspath unter Einfluss der Wärme seine magnetische Kraft nur langsam, das kohlensaure Eisenoxydul dieselbe viel rascher ändert, weiter wahrscheinlich, dass ein solcher Magnekrystall bei hinreichender Erhitzung seinen Charakter ändern würde, und dass die magnetische Kraftaxe, die bei niedrigen Temperaturen die Maximum-Axe

war, hei hohen Temperaturen die Minimum-Axe oder die Linie kleinster Kraft werden würde, was in der That auch die Untersuchung ergab.

3416. Es war schwierig, die Temperatur dieser Krystalle über eine gewisse Grenze zu steigern, da sie bei einem gewissen Punkte, etwa 300^0 F., entweder plötzlich zersprangen, wie eine Glasthräne, oder zerbröckelten. Durch eine vorhergehende langsame Temperaturerhöhung liess sich diesem Zerfalle nicht vorbeugen. Dennoch wurden einige Stücke erhalten, welche trotz vieler Risse noch so zusammenhingen, dass sie den Krystall repräsentirten. Wurden sie im magnetischen Felde aufgehängt, so stellte sich die kurze (oder optische) Axe des Rhomboëders bei gewöhnlicher Temperatur axial, aber bei einem gerade unter Rothgluth, die mit einer Spirituslampe erzielt wurde, liegenden Punkte äquatorial. Liess man den Krystall erkalten, so stellte sie sich wieder axial und bei erneuter Erhitzung äquatorial, und dieser Wechsel liess sich vielmals wiederholen, ohne dass der Krystall durch Entstehung von Aetzkalk oder freiem Eisenoxyd irgend geändert erschien, da er seinen Zustand und seine Eigenschaften behalten hatte. Er war in hohen und niedrigen Temperaturen magnekrystallisch, in den hohen Temperaturen verhielt er sich jedoch wie reiner Kalkspath, in niedrigen wie kohlensaures Eisenoxydul. Bei niedriger Temperatur war er in Luft und demnach auch in Kohlensäuregas im Ganzen paramagnetisch. Ob er bei einer gewissen mittleren Temperatur ganz aufhören würde, magnekrystallisch zu sein und in Kohlensäuregas im Ganzen weder paramagnetisch noch diamagnetisch sein und demnach zum Theil und bei einer bestimmten Temperatur der früher angestellten Betrachtung (3393) entsprechen würde, vermag ich nicht zu sagen.

3417. In dem kohlensauren Kalk und kohlensauren Eisenoxydul ist die kurze Axe des Rhomboëders ausgesprochen eine Richtungs*linie*, die sich je nach der Natur des Krystalls entweder äquatorial oder axial einstellt. Eine zu ihr senkrechte Ebene zeigt keine merklichen Verschiedenheiten in ihren einzelnen Theilen, die Kraft scheint also in allen Richtungen gleich zu sein. Demnach scheint die ganze Veränderung in dem eisenhaltigen Kalkspath darauf zu beruhen, dass die Empfänglichkeit für magnetische Induction in Richtung der kurzen Axe unter Einfluss der Wärme rascher abnimmt als in der zu ihr senkrechten *Ebene*, so dass sie letztere nicht bloss erreicht, sondern *übertrifft* und bei der Abkühlung wieder zu ihr zurückkehrt und über sie hinausgeht. Die Kraft in der äquatorialen Ebene oder Richtung ist wahrscheinlich veränderlich, aber ihre ganze Schwankung scheint doch innerhalb derjenigen zu liegen, welche die axiale Richtung erleidet.

3418. Es scheint, dass Krystalle wie diese sich nicht in hoher Temperatur unter gewöhnlichem Druck gebildet haben können, da sie erfahrungsgemäss eine solche Temperatur nicht ertragen können. Sie lassen sich sogar als bei hohen und niederen Temperaturen physisch verschiedene Substanzen ansehen; denn in einem Körper, der bei der Ausdehnung nicht

seine Integrität bewahren kann, müssen die Molecularkräfte, wenn sie eben die Masse in Theilchen zersprengen, ganz anders angeordnet sein als dann, wenn sie den Zustand des Körpers, in den sie selbst ihn gebracht haben, zu erhalten streben. Die Abweichungen in dem magnetischen Verhalten in den beiden Fällen sind sehr auffallend, und vielleicht findet man, dass auch die optischen Eigenschaften Veränderungen erleiden. Die Krystalle sind, glaube ich, härter als die des Kalkspaths und stets rissiger. Kalkspath, der Adern von kleinen Schwefelkieskrystallen enthält, erweist sich fast sicher als von dieser eigenthümlichen Natur.

3419. Es scheint, dass Magnekrystalle (mit Ausnahme des eisenhaltigen Kalkspathes), paramagnetische wie diamagnetische, sämmtlich im Allgemeinen in gleicher Weise von der Wärme beeinflusst werden; der Unterschied der Kraft in zwei gegebenen Richtungen nimmt bei steigender Temperatur ab, bei sinkender zu und ist bei gegebener Temperatur constant. Solche Aenderungen können in verschiedener Weise vor sich gehen; dieselben würden durch eine Abnahme der Kraft der stärkeren Axe unter Einfluss der Wärme ebenso gut erklärt werden wie durch eine Zunahme der Kraft der schwächeren Axe. Derartige zweifelhafte Punkte könnten beseitigt werden, wenn man mit solchen Erfahrungen, wie ich sie mitgetheilt habe, andere über die *gesammte* paramagnetische oder diamagnetische Kraft eines Krystalls in gegebener Lage bei verschiedenen Temperaturen combinirte. Ich hege jedoch in Anbetracht der Wirkung der Wärme im Allgemeinen wenig Zweifel, dass die Empfänglichkeit des Krystalls für Inductionswirkungen in gegebener Richtung mit steigender Temperatur verringert werde, und zwar in jeder Richtung, und dass die von mir gemessenen Wirkungen einfach die Unterschiede zwischen den gesammten Veränderungen in je zwei Richtungen seien. Nur der Versuch kann entscheiden, ob eine Kugel vom Turmalin oder Kalkspath eine Einwirkung durch den Magnet noch bei Temperaturen erleiden würde, bei denen der magnekrystallische Charakter dieser Körper verschwinden würde; allein es erscheint fast gewiss, dass die diamagnetische Kraft eines körnigen Stückes Wismuth gleich sein muss der Summe der Kräfte der verschiedentlich angeordneten Krystalltheile, aus denen es zusammengesetzt ist, und verschwinden würde, wenn diesen ihr magnekrystallischer Charakter durch die Wärme genommen würde. Es ist auch gewiss, dass der magnekrystallische Charakter solcher Krystalle, die zusammenhängend bleiben, bei sehr hohen Temperaturen erhalten bleibt.

3420. Sollte es sich zeigen, dass der absolute magnetische Charakter der Körper mit ihrem magnekrystallischen zusammenfiele, so würde die Untersuchung des Einflusses der Wärme auf Magnekrystalle ein erhöhtes Interesse gewinnen. In vielen Fällen können wir die magnekrystallische Vertheilung der Kraft besser untersuchen als die gesammte Kraft, und eine Untersuchung eines Theiles des Verhältnisses, in welchem sie sich vermindert, könnte uns einen bedeutenden Einblick in die Natur des Ganzen

gewähren. Wenn ferner die magnekrystallischen Anzeichen mit den magnetischen übereinstimmten, so dass die einen als Repräsentanten der anderen genommen werden könnten, so hätten wir den Vortheil, bei Magnekrystallen von dem (mit der Temperatur veränderlichen) Einfluss des umgebenden Mediums (3376) gänzlich absehen zu können. Es ist bemerkenswerth, dass, wie man bisher keinen homogenen Körper kennt, der seinen magnetischen Charakter durch Erwärmung ändert, d. h. durch Erwärmung aus der paramagnetischen Reihe in die diamagnetische (den Raum oder sein magnetisches Aequivalent, das Kohlensäuregas, als Nullpunkt genommen) übergeht, oder umgekehrt, ebenso auch kein einfacher Magnekrystall eine derartige Umkehrung bisher gezeigt hat; auch hat keine der drei Hauptkraftaxen ihren Charakter oder ihre gegenseitige Beziehung geändert. Dies muss man sich gegenwärtig halten, wenn man an die früher erwähnte (3393) Möglichkeit denkt, dass ein Magnekrystall am Nullpunkte stände.

Die Richtung der Linien in der graphischen Darstellung macht es nicht wahrscheinlich, dass durch eine uns erreichbare Temperaturerniedrigung eine erhebliche Zunahme der diamagnetischen Kraft des Wismuths zu erwarten sei. Da es die hauptsächlichste diamagnetische Substanz und ein Metall ist, so hätte man wünschen mögen, dass es lieber eine Curve ähnlich der des kohlensauren Eisenoxyduls oder auch nur des Turmalins gäbe.

§ 40. Einfluss der Wärme auf die absolute magnetische Kraft der Körper.

3421. Es ist nun Zeit, den Einfluss der Wärme auf die totale magnetische Kraft solcher (der Induction ausgesetzten) paramagnetischen oder diamagnetischen Körper zu untersuchen, die dem Nullpunkte nahe stehen, d. h. so nahe als Wismuth oder Sauerstoff, also unter Anderem das Verhältniss der *ganzen* Kraftänderung zu der Aenderung des differentialen Verhaltens der Magnekrystalle zu untersuchen. Bei diesen Untersuchungen tritt eine Schwierigkeit, die uns bisher nicht begegnet ist, dadurch ein, dass die Bewegungen des Körpers mehr oder weniger von dem umgebenden Medium abhängig sind; denn wenn dieses sich durch Temperaturunterschiede änderte, so würde es den Anschein haben, dass jener eine Aenderung erlitten hätte, obschon es in Wirklichkeit gar nicht der Fall zu sein brauchte. Die bei einer früheren Gelegenheit (2359) aufgestellte Behauptung, dass der Paramagnetismus von Lösungen durch die Wärme nicht beeinflusst werde, kann bei dem gegenwärtigen Stande der Frage ohne weitere Bestätigung schwerlich zugegeben werden. Wenn Körper am magnetischen Nullpunkte durch Erwärmung keine Aenderung erlitten, dann könnte man eine Flüssigkeit von dieser Beschaffenheit zu einem Bade benutzen und darin die Aenderungen fester, nicht am Nullpunkte stehender Körper untersuchen, und ebenso könnte ein fester Körper dazu dienen, die Aen-

derungen zu untersuchen, welche die Wärme in den ihn umgebenden Flüssigkeiten bewirkt.[1]) Wenn ferner paramagnetische Lösungen keine Aenderungen erlitten, so könnten sie benutzt werden, um die Angaben diamagnetischer Körper wie Wismuth oder Phosphor zu steigern. Inzwischen dürften folgende Resultate nützlich und annehmbar sein.

3422. Da es mir sehr wünschenswerth erschien zu wissen, ob die Aenderung von *amorphem*, d. i. *körnigem Wismuth* in derselben Progression vor sich gehe wie die eines Wismuthkrystalles für dieselben Temperaturen, bemühte ich mich, einige Messungen zu erhalten, die mich jedoch nicht befriedigten. Ich benutzte einen etwa 0,55 Zoll langen und 0,12 Zoll dicken Metallstab zwischen zugespitzten Polen; allein bei Anwendung eines metallenen Torsionsdrahtes war die Kraft des Wismuths unter Einfluss des Logeman'schen Magnets nicht merklich, und bei Anwendung eines seidenen Aufhängungsfadens (der übrigens an und für sich unzuverlässig ist) wurden die Angaben völlig verdeckt durch Strömungen in der umgebenden Flüssigkeit. Ein *Turmalin*krystall erwies sich unter denselben Umständen ebenso ungünstig; überdies ist zu bemerken, dass, da die Turmaline untereinander beträchtlich abweichen, eigentlich nur Stücke desselben Krystalls mit einander verglichen werden können.

3423. *Kohlensaures Eisenoxydul.* — Diese Substanz fand ich paramagnetisch genug, um unter Einfluss des Logeman'schen Magnets mit zugespitzten, 1,95 Zoll von einander abstehenden Polen zu reagiren. Der früher beschriebene Krystall (3379) wurde durch Abschleifen in eine Platte verwandelt und war dann 0,6 Zoll lang, 0,17 breit und 0,37 dick. Sie wurde mit der optischen oder kurzen Axe vertical aufgehängt und unten ein kleiner Kupferwürfel daran gehängt, um sie im Oelbade zu beschweren und zu verhindern, dass sie sich im Ganzen dem einen oder anderen Pole nähere. Die erhaltenen Resultate sind auf der Curventafel (siehe Stab von kohlensaurem Eisenoxydul E) verzeichnet. Sie stimmen nicht mit denen, welche dieselbe Substanz als Magnekrystall lieferte, überein. In dem aufsteigenden Theil der Curve ist die Kraft 157 bei 126^0 und 133 bei 288^0, die Abnahme um 24 beträgt also nur $^1/_{6,54}$ der Kraft bei 126^0. In dem absteigenden Theil ist die Kraft 182 bei 96^0 und 125 bei 292^0, die Differenz also, 57, ist gleich $^1/_{3,2}$ der Kraft bei 96^0. Beide Unterschiede sind viel geringer als bei dem Krystall von kohlensaurem Eisenoxydul, indem die Kraft bei 96^0 gleich 255 und bei 292^0 gleich 137 war, die Differenz 118 also fast die Hälfte der Kraft bei 96^0 ausmacht. Es ist demnach zweifellos, dass die Kräfte des Stabes nicht in demselben Verhältniss abnehmen wie die des Krystalls, oder dass sich das Medium, freilich in unbekannter Weise, bedeutend ändert; oder auch dass der Stab im Ganzen eine eigenthümliche Aenderung erleidet, die vielleicht im Zusammen-

---

[1]) Royal Institution Proceedings, Jan. 1853, p. 232, oben p. 460.

hang steht mit der Durchkreuzung der auf- und absteigenden Curven in der graphischen Darstellung. Hätte das Oel des Bades bei der Temperaturerhöhung einen *Verlust* an Diamagnetismus erlitten (ein Gewinn ist nicht zu erwarten), so würde das kohlensaure Eisen hierdurch allein einen Verlust erlitten zu haben scheinen, der sich zu seinem eigenen Verlust addirte. Hieraus würde sich ein umgekehrtes Resultat ergeben, als in Wirklichkeit auftritt.

3424. In Ergänzung früherer Resultate[1]) wurden auf folgende sehr leichte Weise Versuche mit den Metallen Eisen, Nickel und Cobalt angestellt. Ein Kupferwürfel von 0,25 Zoll Seite hatte ein Loch in einer zu zwei Seiten senkrechten Richtung, in dessen Mitte sich ein 0,05 Zoll langes und 0,0166 Zoll dickes blankes Drahtstückchen von weichem *Eisen* befand. Der 46 Gran wiegende Würfel war wie sonst zwischen den 4,86 Zoll von einander abstehenden Magnetpolen aufgehängt. Die Kraft des so dem Magnet ausgesetzten Eisens war so gross, dass ein Torsionsdraht aus Platin angewandt werden konnte (3369), wodurch jeder Einwurf gegen eine mögliche Veränderung der Torsionskraft beseitigt wurde. Die Umschlagepunkte waren ganz constant und lagen 108^0 auseinander. Die Resultate der Beobachtungen bei Temperaturen zwischen 30^0 und 288^0 sind auf der Tafel verzeichnet (siehe Eisenstab P) und man sieht, dass sie keine merkliche Schwankung zeigen, wie wenn die Inductionskraft in dem Eisen während dieser Temperaturänderung ungeändert geblieben wäre und sich stets auf dem erlangten Maximum erhalten hätte. Aus anderen Versuchen wissen wir, dass die Kraft bei höheren Temperaturen abnimmt, dass die Abnahme bei einer gewissen Temperatur, zwar nicht augenblicklich, sondern progressiv, doch sehr rasch erfolgt, und dass sie bei noch höheren Temperaturen sich wiederum verlangsamt und schliesslich fast unmerklich wird. Wir haben Grund zu der Annahme, dass Turmalin und kohlensaures Eisen eine gleiche Umkehrung der Curve zeigen würden, wenn wir zu sehr niedrigen Temperaturen herabsteigen könnten.

3425. *Nickel.* — In die auf der oberen Fläche eines dem vorigen gleichen Kupferwürfels (3424) hergestellte Höhlung wurde ein 0,09 Zoll langes, 0,036 dickes quadratisches Nickelstäbchen von reinem Nickel eingestellt und durch den Aufhängungsdraht unbeweglich festgehalten. Das System wurde Temperaturänderungen unterworfen. Der Umschlagewinkel war 112^0. Die Resultate sind auf der Tafel als „Nickelstab M“ verzeichnet; sie beginnen bei höheren Temperaturen und gehen zu niedrigeren herab. Wie man sieht, findet bei der oberen Temperatur eine Abnahme der Kraft statt, die mit der allgemeinen Wirkung der Wärme im Einklang steht; und da wir wissen, dass die Temperatur des siedenden Oels hoch genug ist, um selbst grosse Nickelmassen unempfänglich für die Wirkung ge-

---

[1]) Siehe oben Art. 2344—2347 und p. 407.

wöhnlicher Magnete zu machen, so dürfen wir annehmen, dass zwischen 300^0 und 600^0 eine sehr rasche und interessante Reihe von Aenderungen eintreten würde.

3426. *Cobalt.* — Ein Stäbchen aus reinem Cobalt von 0,08 Zoll Länge und 0,027 Querschnitt wurde, in ähnlicher Weise an einem Kupferwürfel befestigt, dem Einfluss des Magnets und der Wärme ausgesetzt. Der Umschlagewinkel war 118^0. Ein Grund für den Unterschied des Umschlagewinkels dieser Metalle lag in den verschiedenen Verhältnissen von Länge und Dicke; ein anderer Grund wird sich weiter unten ergeben (3427). Zwei Beobachtungsreihen sind auf der Curventafel angegeben (mit N und O bezeichnet), die beide einen wichtigen Nachweis bilden. Zunächst ist in Bezug auf die Resultate O zu bemerken, dass, wenn man von 66^0 zu höheren Temperaturen aufsteigt und dann nahezu zu derselben Temperatur zurückkehrt, das Cobalt einen permanenten Zuwachs an Kraft, entsprechend etwa 30 Graden Torsionskraft, erfährt; die ganze Kraft betrug etwa 380. Dies liess sich schliesslich auf eine magnetische Ladung oder Coërcitivkraft zurückführen; denn wenn man nach der Beobachtung bei 79^0 den Würfel nebst dem Cobalt um 180^0 drehte, so dass die Enden gegen die Magnetpole nun umgekehrt lagen als vorher, und sie hierauf in ihre ursprüngliche Lage zurückbrachte und abermals beobachtete, so schien die Kraft des Systems abgenommen zu haben, wie man aus den sechs auf der Tafel mit R bezeichneten Resultaten ersieht, und diesen Zustand behielt das Cobalt, auch wenn es in letzterer Lage einige Zeit sich selbst überlassen wurde. Ich fand in der That, dass kleine Stücke von Eisen, Nickel und Cobalt, die, um ihnen ihren Magnetismus zu nehmen, geglüht wurden, wenn man sie hierauf einen Moment in irgend einer Lage in das magnetische Feld hielt, Magnetismus annahmen, den sie auch nach Entfernung aus dem Felde behielten. Es scheint, dass, selbst wenn sie hierauf im magnetischen Felde umgekehrt wurden, diese erste Ladung oder deren Effect zum Theil zurückblieb, dass das Metall aber bei hohen Temperaturen mehr oder weniger davon verliert. Hieraus ergiebt sich der Unterschied zwischen den Resultaten zu Anfang und am Ende der mit O bezeichneten Beobachtungsreihe. Bei den mit N bezeichneten Beobachtungen war das Metall wahrscheinlich in einem solchen Zustande, dass durch die Wärme kein dauernder Verlust verursacht wurde, oder dass die Erwärmung (nur auf 290^0) hierzu nicht lange genug fortgesetzt wurde.

3427. Ich halte es für sehr wahrscheinlich, dass Eisen und Nickel bei näherem Zusehen ähnliche Erscheinungen aufweisen würden wie das Cobalt, und dass auch eben dieses Zurückbleiben der magnetischen Ladung den Umschlagewinkel von Metallstücken ändert, die in den Verhältnissen von Länge und Dicke Verschiedenheiten zeigen (3426).

3428. Abgesehen von den gesammten Folgen dieser Ladung, tritt noch ein anderes Resultat in den beiden Beobachtungsreihen mit Cobalt und in

beiden Theilen der Reihe O hervor, nämlich die *Zunahme* der Kraft mit der Temperaturerhöhung. Dies ist, glaube ich, der erste Fall, dass man ein solches Resultat erkannt hat; und wenn man auch einen Augenblick meinen könnte, dass das Metall beim Ansteigen der Temperatur von 66^0 bis auf 300^0, durch die höheren Temperaturen geeigneter geworden sei, wie oben angenommen wurde (3426), entgegenwirkende Ladungen aufzugeben, so würde dies doch nicht die *Abnahme* der Kraft bei steigender Temperatur erklären, wenn man nicht auch annimmt, dass die Wärme das Metall für die Aufnahme einer magnetischen Ladung empfänglicher mache, was so viel heisst als behaupten, dass der Magnetismus bei höheren Temperaturen stärker ist als bei niedrigeren. Dieser Vorgang kann auch nicht von einer Aenderung in dem umgebenden Medium herrühren; denn das Missverhältniss zwischen ihm und dem Cobalt für gleiche Volumina ist so gross, dass die Vernichtung oder Verdoppelung ihrer Kräfte ohne merkliche Folgen auf die Resultate sein würde. Wenn dies für Cobalt richtig ist, so ist es wahrscheinlich, dass es sich mit Eisen und Nickel bei gewissen Temperaturen ähnlich verhält, und dass wir bei Anwendung noch niedrigerer Temperaturen, als es bisher der Fall war, schliesslich zu einer Temperatur gelangen würden, bei welcher die magnetische Induction in diesen Körpern ein Maximum sein und unterhalb welcher die in ihnen inducirte Kraft abnehmen würde. Innerhalb der angewandten Grenzen, d. h. zwischen 0^0 und 300^0, scheinen die drei Metalle an verschiedenen Punkten der ihr Verhalten darstellenden Curve zu sein: Das Nickel hat den Punkt des Kraftmaximums überschritten, das Eisen befindet sich auf demselben und das Cobalt hat ihn noch nicht erreicht. Hiermit stehen auch die weiteren Aenderungen bei Aenderung der Temperatur im Einklang. Denn mit der Temperaturerhöhung verliert zuerst das Nickel seine Kraft bei etwa 635^0 F.[1]), dann das Eisen bei mässiger Rothgluth[2]) und zuletzt das Cobalt bei einer weit höheren Temperatur, in der Nähe des Schmelzpunktes des Kupfers. Diese Darstellung erhöht das Interesse der Beziehung zwischen der Wärme und dem Magnetismus, namentlich da sie, wenn sie sich als begründet erweisen sollte, wahrscheinlich für Substanzen in allen Aggregatzuständen gilt, sowohl für Gase, wie Sauerstoff, als auch für Metalle, wie Cobalt. In diesem Falle giebt es wahrscheinlich für alle Körper, für paramagnetische wie diamagnetische, eine gewisse Temperatur, bei welcher der in ihnen inducirte magnetische Zustand am meisten begünstigt wird und ein Maximum hat, oberhalb und unterhalb welcher aber dieser Zustand geschwächt wird.

3429. Was den Einfluss der Wärme auf Eisen und Stahl und demnach auf Magnete überhaupt betrifft, so wird man künftighin unterscheiden müssen zwischen dem Einfluss auf als vollkommen weich angesehenes Eisen

---

[1]) Experimental-Untersuchungen, vol. II, p. 197.
[2]) Oben p. 407.

und auf vollkommen harten Stahl, gleichviel ob er magnetisirt ist oder nicht. Es ist möglich, dass ihre Wirkung auf einen Magnet, dessen Theile sämmtlich gleich hart und gleich magnetisirt sind, sehr verschieden ist von ihrer Wirkung auf einen Magnet, dessen Oberflächen- oder Endtheile härter und stärker magnetisirt sind als die übrigen, oder dessen Theile, wie es gewöhnlich der Fall ist, nicht wie beim Stahle genau gleich, sondern verschieden sind und dessen gesammtes Verhalten ein hieraus resultirendes ist.

3430. Erwägt man diese merkwürdigen Wirkungen der Wärme, so stösst abermals die Frage auf: Können Substanzen unter Einfluss von Temperaturänderungen in magnetischer Hinsicht in einander übergehen? Bisher scheint es nicht, dass ein homogener Körper den durch ein Vacuum oder durch Kohlensäuregas repräsentirten Nullpunkt überschreiten könne, d. h. sich vom paramagnetischen in den diamagnetischen Zustand überführen lasse oder umgekehrt; diese Zustände sind durch den genannten Nullpunkt begrenzt, und insofern ist dieser ein wahrer und natürlicher Nullpunkt. Man kann noch folgende Fragen aufstellen: Wenn man gleiche Volumina verschiedener Körper von gleicher Gestalt derselben magnetischen Kraft bei verschiedenen Temperaturen aussetzt, und wenn ihre Kräfte in ihrer vollständigen und wahren Beziehung zu einander sich graphisch darstellen liessen, würden die diese Kräfte vorstellenden Linien einander schneiden? So weit ich sehe, würde es nicht der Fall sein, allein die Resultate sind bisher noch zu wenig zahlreich und zu unvollkommen in ihrer Natur, um eine strenge Schlussfolgerung zu rechtfertigen.

Royal Institution,
9. October 1855.

Ueber den Einfluss des Magnetismus auf das Licht und auf andere als magnetische Körper.

Aus einem Briefe Faraday's an De la Rive.)*

. . . . Die Abhandlungen, die ich neulich der Königlichen Gesellschaft übergeben habe, bilden die XIX., XX. und XXI. Reihe meiner Experimental-Untersuchungen. Die erstere, unter dem Titel: *Die Magnetisirung des Lichtes und die Erleuchtung der magnetischen Kraftlinien,* zerfällt in drei Theile. Der erste handelt über *die Wirkung des Magnetismus auf das Licht.* Ich zeige darin, dass, wenn man durch einen zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagnets befindlichen flüssigen oder festen (nicht doppeltbrechenden) durchsichtigen Körper einen polarisirten Lichtstrahl parallel zu den magnetischen Kraftlinien hindurchsendet, die durchsichtige Substanz keinerlei besondere Wirkung auf das Licht äussert, so lange der Magnet nicht erregt ist. Sobald aber Letzteres der Fall ist, erfährt der die Substanz durchsetzende Strahl eine Drehung, deren Richtung von der der Magnetkraft abhängt, und deren Grösse der Stärke des Magnets proportional und von der Natur und Dicke der Substanz bedingt ist. Diese Drehung befolgt das Gesetz, dass, wenn der polarisirte Strahl sich in der Richtung vom Nordpol zum Südpol des Magnets fortpflanzt, derselbe nach rechts, oder bei umgekehrter Polarität nach links gedreht wird. Die Drehung bleibt so lange bestehen, als die Magnetkraft unterhalten wird, und verschwindet mit dem Aufhören der letzteren. Die Flüssigkeiten, welche an und für sich die Fähigkeit besitzen, den Lichtstrahl zu drehen, können dieselbe auch unter dem Einfluss des Magnetismus erlangen, aber je nach dem Sinne ihres natürlichen Drehungsvermögens addirt sich die letztere diesem oder subtrahirt sich von demselben. Borsaures oder kieselborsaures Blei sind die Substanzen, an denen die Drehungserscheinung des polarisirten Lichtstrahls unter dem Einfluss des Magnetismus sich am besten kundgiebt.

---

*) Bibliothèque universelle de Genève, Supplément (Archives des sciences physiques et naturelles) 1846, I, 72. D. Ü.

Der zweite Theil der Abhandlung zeigt, dass dieselbe Erscheinung sich durch eine Spirale, in der ein elektrischer Strom kreist, hervorrufen lässt. Das Wirkungsgesetz ist dasselbe, es lässt sich jedoch noch einfacher ausdrücken. Denn nach der Uebereinkunft, die man für die Bezeichnung der Richtung eines elektrischen Stromes getroffen hat, kann man sagen: wenn eine durchsichtige Substanz sich in dem Hohlraum einer von einem Strome durchflossenen wirksamen oder langen Spirale befindet, so erfolgt die Drehung des Lichtstrahls in demselben Sinne, in welchem der Strom circulirt; der spiralförmige Strom bewirkt auch eine spiralförmige Drehung des Lichtsrahls etc. Der dritte Theil der Abhandlung enthält *allgemeine Betrachtungen*, und unter Anderem führte ich darin die Gründe an, die es mir wahrscheinlich machen, dass die in Rede stehende Erscheinung in Wahrheit eine unmittelbare Wirkung des Magnetismus auf das Licht sei.

Die XX. und XXI. Reihe der Untersuchungen *über neue magnetische Wirkungen* und *über den magnetischen Zustand aller Materie* zerfallen in sieben Abschnitte. Der erste enthält eine kurze Beschreibung der kräftigen Elektromagnete, die ich benutzt habe, und die Definition gewisser Ausdrücke, wie *axiale* und *äquatoriale Richtung*. Die axiale Richtung zwischen den Polen eines Magnets hat ein Körper von länglicher Gestalt, wenn seine Längsrichtung mit der Verbindungslinie der beiden Pole zusammenfällt. Der Ausdruck *äquatoriale* Lage bedeutet, dass die grösste Abmessung eines Körpers zwischen den beiden Polen zu der Verbindungslinie derselben senkrecht ist.

Der zweite Abschnitt beschäftigt sich mit der *Wirkung des Magnetismus auf schweres Glas*, diejenige Substanz, bei der der Einfluss des Magnetismus auf das Licht zuerst beobachtet worden ist. Ich zeige dort, dass ein Prisma von schwerem Glase sich äquatorial stellt und dass diese Einstellung von der abstossenden Wirkung herrührt, die der Magnet und das Glas auf einander ausüben. Beide Pole eines kräftigen Magnets stossen ein Stück schweren Glases beständig gleich stark ab. Die Abstossung ist um so grösser, je näher die auf einander wirkenden Körper sind und je grösser die Intensität der Magnetkraft ist. Die Zwischenstellung von Platten aus Metall, Glas oder anderen als nicht magnetisch geltenden Substanzen hat keinen Einfluss auf die Erscheinung.

Der dritte Abschnitt handelt von der *Wirkung des Magnetismus auf andere als metallische Körper*, und es wird gezeigt, dass alle Körper, die nicht wie Eisen magnetisch sind, sich wie das schwere Glas verhalten, also, wie ich es genannt habe, *diamagnetisch* sind, d. h. dass alle Theile dieser Substanzen von dem Magnet abgestossen werden, und dass ein länglicher Theil sich zwischen den Polen äquatorial stellt. Es ist sehr sonderbar zu sehen, wie eine mit Wasser gefüllte Röhre, ein Stück Fleisch, Apfel, Holz abgestossen werden und sich äquatorial zwischen den Polen stellen. Der Phosphor steht sehr hoch in der Reihe dieser Substanzen, ebenso Schwefel

und Kautschuk. Das Resultat wird durch den Zertheilungszustand der Substanz nicht geändert, vorausgesetzt dass hierdurch ihre Gestalt und Masse keine merkliche Aenderung erleidet.

Der vierte Abschnitt beschäftigt sich mit der *Wirkung des Magnetismus auf die Metalle im Allgemeinen.* Ich habe allen Grund zu glauben, dass Platin, Palladium und Titan wahrhaft magnetische Metalle sind und dass sie in eine Reihe mit Eisen und Cobalt gestellt werden müssen; die beiden ersteren, das Platin und das Palladium, stehen jedoch sehr tief unter den anderen magnetischen Metallen. Ich finde ferner, dass alle Metalle, welche nicht nach Art des Eisens magnetisch sind, sich in magnetischer Hinsicht wie das schwere Glas verhalten, d. h. *diamagnetisch* sind, dass sie sich sämmtlich äquatorial stellen und von beiden Polen eines Magnets abgestossen werden. In noch auffallenderem Grade als Phosphor und schweres Glas besitzt das Wismuth diese Eigenschaft, die schon im Jahre 1778 die Aufmerksamkeit Brugman's auf sich gezogen hatte. Diese Thatsachen dürften zur Erklärung gewisser merkwürdiger Erscheinungen dienen, welche die magnetodynamische Induction, besonders beim Kupfer, Silber und anderen guten metallischen Leitern darbietet, und die man, wie es scheint, deshalb nicht erklären konnte, weil wir über den Diamagnetismus in Unkenntniss waren.

Der fünfte Abschnitt handelt von der *Wirkung des Magnetismus auf die magnetischen Metalle und ihre Verbindungen.* Ich bemerke zuerst, dass die Wärme den Magnetismus des Eisens und Cobalts nicht gänzlich zerstört; es findet zwar durch Erwärmung eine Schwächung dieser Eigenschaft statt, die übrigens nicht plötzlich, sondern allmählich vor sich geht, aber die Metalle bleiben nichtsdestoweniger magnetisch, werden nach wie vor von einem Magnet angezogen und nehmen die axiale Lage ein. Alle Salze des Eisens, Nickels und Cobalts sind magnetisch, ebenso *ihre Lösungen.* Wir sind somit im Stande, Mittel herzustellen, die bei gewissen Stärkegraden magnetisch sind, und deren Kraft man abstufen kann; da sie durchsichtig und überdies flüssig sind, so kann man mit ihrer Hülfe Aufschluss erhalten über die magnetischen und diamagnetischen Beziehungen anderer Körper, die man darin untertaucht. In diesen Lösungen ist die Kraft der magnetischen Substanz, beispielsweise eines Eisensalzes, der des Wassers, das diamagnetisch ist, entgegengesetzt, so dass man leicht eine Lösung herstellen kann, die in der Luft weder eine magnetische noch eine diamagnetische Erscheinung darbietet, sondern sich vollkommen indifferent verhält. Wenn jedoch eine mit einer solchen Lösung gefüllte Röhre unter Wasser getaucht wird, so offenbart sich ihre magnetische Eigenschaft darin, dass sie sich *axial* stellt und angezogen wird, während sie in einer Lösung, deren Eisengehalt geringer ist als ihr eigener, sich äquatorial stellt und abgestossen wird, gerade so wie eine diamagnetische Substanz. Das Studium des Magnetismus aller Verbindungen des Eisens, Nickels und Cobalts führte

mich zu der Folgerung, dass es möglich wäre, den Magnetismus der Metalle aus dem Verhalten ihrer Salze zu erschliessen. Die hierüber angestellte Untersuchung zeigt, dass die Verbindungen des Titans, Mangans, Cers und Chroms ausgezeichnet magnetisch sind, und aus diesem nebst anderen Gründen schliesse ich, dass die Metalle selbst magnetische Eigenschaften besitzen.

Der sechste Abschnitt beschäftigt sich mit der Untersuchung der *Wirkung des Magnetismus auf die Luft und Gase.* Dem äusseren Anscheine nach existirt eine solche Wirkung nicht, d. h. es besteht kein Unterschied zwischen den einzelnen Gasen, ebenso wenig zwischen einem Gase im Zustande höchster Verdünnung und demselben Gase im Zustande grösster Dichtigkeit. Taucht man eine mit Luft gefüllte Röhre unter Quecksilber, Wasser, Oel oder Alkohol, so erscheint die Luft magnetisch; sie nimmt eine axiale Lage ein und wird angezogen. Taucht man sie in eine Lösung von Eisen, Cobalt, Mangan, Cer, Chrom etc., so erscheint sie diamagnetisch, stellt sich äquatorial und wird abgestossen. Sie würde also thatsächlich ebenso in die Classe der magnetischen wie in die der diamagnetischen Körper gehören. Indessen kann man es, soviel ich glaube, nicht als eine gesicherte Thatsache hinstellen, dass die Luft gewissermassen den *Nullpunkt* bildet oder dass ihr Verhalten nur ein differentiales sei.

Der siebente Abschnitt enthält *allgemeine Betrachtungen* über die vorstehenden Resultate und handelt unter Anderem von Beziehungen zwischen diesen Thatsachen und den terrestrischen Erscheinungen, sowie von der Rolle, die sie wahrscheinlich bei dem grossen Problem des Erdmagnetismus spielen.

Ueber neue Beziehungen zwischen Elektricität, Licht und Magnetismus.

(Aus einem Briefe Faraday's an Dumas.)*)

.... Lässt man *magnetische Kraftlinien* von einem kräftigen Elektromagnet oder einer Spirale durch einen durchsichtigen Körper parallel einem denselben Körper durchsetzenden polarisirten Lichtstrahl gehen, so erfährt dieser eine Drehung. Diese Wirkung erfolgt in allen durchsichtigen nicht doppeltbrechenden flüssigen und festen Körpern, aber je nach der Natur der Substanz in verschiedenem Grade. Ich betrachte dieselbe als eine Wirkung des Magnetismus auf das Licht selbst, allein mehrere meiner Freunde, die jedoch nicht in der Lage waren, alle Thatsachen meiner Arbeit in Erwägung zu ziehen,' sehen in dieser Erscheinung keinen Beweis hierfür. Obschon ich also bei meiner Meinung bleibe, gebe ich doch gern zu, dass sie irrig sein könnte.

---

*) Comptes Rendus, 1846, Tom. XXII, p. 113. D. Ü.

Wenn der Lichtstrahl bei einer gewissen, durch die Magnetkraft oder den die Spirale umkreisenden Strom bestimmten Richtung nach rechts gedreht wird, so erfährt er bei entgegengesetzter Richtung der magnetischen oder elektrischen Kraft eine Drehung nach links. Der Sinn der Drehung hängt wesentlich von diesen Kräften ab, und darin besteht der alsbald darzulegende grosse Unterschied zwischen dieser Drehung und der des Quarzes, Zuckers, Terpentinöls etc.

Man lege neben eine Spirale, in deren Hohlraum sich eine Röhre mit Wasser befindet, eine Röhre mit Terpentinöl. Wenn letzteres rechtsdrehend ist, so sende man durch die Spirale einen Strom von solcher Richtung, dass er eine Rechtsdrehung bewirkt; dann wird das Wasser ein Vermögen, nach rechts zu drehen, annehmen, so dass beide Flüssigkeiten dieselbe Wirkung zeigen werden.

Lassen wir nun aber, indem die Röhren und die Spirale mit ihrem Strom unverändert in dem erwähnten Zustande bleiben, den polarisirten Lichtstrahl in entgegengesetzter Richtung durch die Röhren treten und stellen uns zur Beobachtung vor das gegenüberliegende Ende derselben, so werden wir sehen, dass *das Terpentinöl den Strahl auch jetzt nach rechts dreht,* **das Wasser aber nicht mehr,** vielmehr dreht dieses nun den Strahl nach links. Die Drehung ist durchaus gebunden an die Richtung des elektrischen Stromes in der Spirale, der, von diesem Ende gesehen, sich von rechts nach links bewegt.

Hätte man statt des Wassers in der Spirale Terpentinöl und sendete man durch dieselbe einen elektrischen Strom, der stark genug wäre, um eine Drehung des Lichtstrahls von gleicher Grösse wie die des Terpentinöls an sich zu bewirken, so würde dessen Drehungsvermögen auf einen Lichtstrahl in einer gewissen Richtung verdoppelt erscheinen, während es, wenn der Strahl in entgegengesetzter Richtung hindurchginge, auf Null gesunken wäre.

Dies ist vorzugsweise die Thatsache, auf Grund welcher ich meine Meinung gegen die meiner Freunde oder einige derselben aufrecht erhalte.

Folgendes sind ferner meine Resultate über den magnetischen Zustand der Materie. Ich finde, dass alle Materie im festen und flüssigen (und vielleicht auch im gasförmigen) Aggregatzustande der Einwirkung des Magnetismus unterliegt, aber nicht in derselben Weise wie das Eisen. Eine nach Art des Eisens magnetische Substanz wird vom Magnet angezogen, und wenn sie von länglicher Gestalt ist, so stellt sie sich mit ihrer Längsseite in Richtung der magnetischen Kraftlinien, während eine Substanz, die nicht nach Art des Eisens magnetisch ist, von dem Magnet abgestossen wird und mit ihrer Längsrichtung sich rechtwinklig zu den magnetischen Kraftlinien stellt. Wasser, Alkohol, Aether, Oel, Holz, Fleisch, Blut und tausend andere Substanzen zeigen ein magnetisches Verhalten der letzteren Art, aber am besten wohl schweres Glas, Phosphor, Antimon und

Wismuth. Vielleicht erinnern Sie sich, dass Lebaillif in Paris (vor etwa dreissig Jahren, glaube ich) die Abstossung eines Magnets durch Wismuth und Antimon zeigte. Ich erwähne diese Thatsache nur ganz im Allgemeinen und habe in meiner Abhandlung darauf hingewiesen.

Die Substanzen, die nicht nach Art des Eisens magnetisch sind, habe ich *diamagnetisch* genannt und behalte diesen Namen zur Bezeichnung dieses neuen magnetischen Zustandes bei. Demnach kann ich zusammenfassend sagen, dass jede flüssige und feste Substanz eine magnetische Wirkung erleidet und ausübt, die entweder im eigentlichen Sinne magnetisch oder diamagnetisch ist.

Aus dieser Eigenschaft ergeben sich bei weiterem Studium zahlreiche merkwürdige Umstände, um deren willen ich Sie auf meine Abhandlung verweisen muss, die ich Ihnen sobald als möglich zugehen lassen werde.

Unter Anderem habe ich festgestellt, dass alle gewöhnlichen Verbindungen magnetischer Metalle gleicherweise magnetisch sind. So sind nicht bloss die Oxyde des Eisens magnetisch, wie bereits Becquerel und Andere bemerkt haben, sondern auch alle Salze des Eisens und alle Lösungen dieser Salze von solcher Concentration, dass die diamagnetische Kraft des als Lösungsmittel angewandten Wassers oder Alkohols compensirt wird.

Auf Grund dieser Erfahrung weitergehend, habe ich feststellen können, dass das Cer ein magnetisches Metall ist, da alle seine Salze magnetisch sind, und ebenso verhält es sich mit Chrom und Mangan.

Ueber die Erscheinungen im magnetischen Felde.

(Aus einem Briefe Faraday's an A. de la Rive.)*)

. . . Was meine Ansichten und Versuche betrifft, so glaube ich nicht, dass es einen kürzeren Weg giebt, einen vollständigen Begriff davon zu erlangen, als meine Abhandlungen (die freilich an hundert Seiten in den „Transactions“ einnehmen), da sie sich zum grossen Theil auf die Vergleichung von Beobachtungen an verschiedenen Orten der Erde mit den durch den Versuch erlangten Resultaten und den daraus gezogenen Schlüssen stützen. Dennoch will ich versuchen, Ihnen einen Begriff von der Grundlage des Gegenstandes zu geben.

Sie wissen, dass ich den Ausdruck *magnetische Kraftlinie* gebrauche, um die magnetische Kraft und den Sinn (der Polarität), in dem sie sich äussert, darzustellen. In der That erhält man, wie ich glaube, hierdurch eine fehlerfreie und zuverlässige Vorstellung von der Vertheilung der Kräfte um einen

---

*) Bibl. univ. de Genève (Arch. des Sc. phys. et nat.) 1851, XVI, 130. Das engl. Original dieses vom 4. Febr. 1851 datirten Briefes findet sich in Bence Jones' Life and Letters of Faraday, II, 257—261. D. Ü.

Magnetstab oder zwischen einander benachbarten flachen Polen, die ein gleichförmiges magnetisches Feld liefern, oder in irgend einem anderen Falle. Wenn nun in ein solches gleichförmiges magnetisches Feld, das sich, wie ich gezeigt habe, mittelst eines Elektromagnets leicht herstellen lässt, eine Kugel von Eisen oder Nickel gebracht wird, so stört dieselbe die Richtung der Kraftlinien, indem sie sie auf sich selbst hinlenkt. Sie erfahren hierdurch jedoch nicht bloss eine Concentration, sondern auch eine *Verzerrung*, denn die Summe der Kräfte in irgend einem Querschnitt des magnetischen Feldes ist stets gleich der in jedem anderen Querschnitt, und daher kann ihre Zusammendrängung auf dem Eisen oder Nickel nicht ohne gleichzeitige Verzerrung geschehen. Uebrigens lässt sich die Verzerrung durch eine kleine ($^1/_{10}$ Zoll lange) zur Untersuchung des Feldes angewandte Nadel leicht nachweisen; denn während sie vor der Einführung der Eisen- oder Nickelkugel stets eine mit sich selbst parallele Lage einnimmt, ändert sie nachher diese Lage an verschiedenen Stellen in der Nähe der Kugel. Denken wir uns nun, die Temperatur der Kugel werde erhöht, so wird sie bei einer gewissen Temperatur ihr Vermögen, die magnetischen Kraftlinien zu afficiren, zu verlieren beginnen und schliesslich kaum etwas davon zurückbehalten, so dass die eben erwähnte kleine Nadel nunmehr wiederum überall in dem magnetischen Kraftfelde parallel mit sich selbst wäre. Diese Aenderung erfährt das Eisen bei sehr hoher Temperatur und sie vollzieht sich anscheinend in einem sehr kleinen Intervall; beim Nickel tritt sie bei viel niedrigerer Temperatur, nämlich schon bei der des siedenden Oels ein.

Gehen wir nun zu einem anderen Gegenstande über. Sauerstoff ist, wie ich vor drei Jahren im „Philosophical Magazine“ 1847, vol. XXXI, pp. 410, 415, 416*) zeigte, in Bezug auf Stickstoff und andere Gase magnetisch. E. Becquerel hat, ohne meine Resultate zu kennen, dieselben in seiner Abhandlung des letzten Jahres bestätigt und erweitert und gewisse vortreffliche Messungen geliefert. In meiner Abhandlung von 1847 zeigte ich auch, dass Sauerstoff (wie Eisen und Nickel) bei Erwärmung seine magnetischen Eigenschaften verliert und dann nicht mehr von einem Magnet angezogen wird, p. 417. Ich zeigte ferner, dass diese Aenderung innerhalb der Grenzen gewöhnlicher Temperaturen stattfindet, da der Magnetismus des Sauerstoffs der Luft, d. h. der Luft überhaupt bei Abkühlung auf 0^0 F. zunahm, p. 406. Nun aber muss ich Sie auf meine Abhandlungen selbst verweisen, um Aufschluss zu erhalten über die (in meinen Augen) seltsamen Ergebnisse der (im magnetischen Sinne gesprochen) Incompressibilität des Sauerstoffs und Unausdehnsamkeit des Stickstoffs und anderer Gase; über die Differentialwaage, mit der ich die Gase mit einander oder ein und dasselbe Gas bei verschiedenen Graden der Verdünnung vergleichen kann; über die Bestimmung des wahren Nullpunktes oder des Grenzpunktes

*) Oben p. 437, 442, 443. D. Ü.

zwischen den magnetischen und diamagnetischen Körpern und über gewisse Ansichten von magnetischer Leitung und Polarität. Sie werden daselbst auch einige sehr feine Versuche über die gegenseitige Wirkung zwischen diamagnetischen und sehr schwach magnetischen Körpern in einem gleichförmigen magnetischen Felde finden. Die magnetischen Körper stossen einander ab, ebenso wie die diamagnetischen einander abstossen, aber ein magnetischer und ein diamagnetischer Körper *ziehen sich an*, und diese Erscheinungen im Verein mit den eben beschriebenen Eigenschaften des Sauerstoffs überzeugen mich, dass dieser gerade so wie Eisen und Nickel die durch ihn gehenden magnetischen Kraftlinien abzulenken vermag, nur in unendlich geringerem Grade, und dass dieses Vermögen, die Kraftlinien abzulenken, sich mit der Temperatur und Dichtigkeit ändert. . . .

Gleichzeitige statische und dynamische Wirkungen der Elektricität.

(Aus einem Briefe an A. de la Rive.)*)

. . . Ich habe mich neulich mit einem für die Elektricität hochinteressanten Gegenstande beschäftigt; die von mir angestellten Untersuchungen befinden sich im Druck, und ich werde Ihnen ungesäumt ein Exemplar senden. Das Folgende sagt in wenigen Worten, um was es sich handelt.

Telegraphendrähte aus Kupfer, sehr sorgfältig mit Guttapercha überzogen, sind so angeordnet, dass Strecken von je hundert Meilen in Wasser versenkt sind. Wenn sie mit den Polen einer sehr starken Volta'schen Batterie von 300 bis 400 Paaren verbunden werden, so geben sie eine freilich schwache, aber *durch ihren Guttapercha-Ueberzug hindurch wahrnehmbare* Entladung. Eine Strecke von hundert Meilen dieses in Wasser versenkten Drahtes, dessen beide Enden gut isolirt sind, kann geladen werden, indem man den Draht mit einem Pol der Volta'schen Batterie verbindet; derselbe giebt noch fünf bis zehn Minuten nach der Trennung von der Batterie eine Entladung oder einen Strom, der sich dem menschlichen Körper durch einen Schlag bemerkbar macht und am Galvanometer wahrgenommen werden kann, Schiesspulver zu entzünden und mit einem Wort alle statischen und dynamischen Wirkungen der Elektricität hervorzubringen ver-

---

*) Bibl. univ. de Genève (Arch. des Sc. phys. et nat.) 1854, XXV, p. 169. Das Original dieses vom 28. Jan. 1854 datirten Briefes in Bence Jones' Life and Letters of Faraday, II, 322. Die Überschrift lautet bei de la Rive: „Propriétés électriques remarquables des fils de cuivre recouverts de Gutta-Percha", doch schien mir obiger Titel im Anschluss an Faraday's Abhandlungen über diesen Gegenstand (p. 467 u. 529) vorzuziehen zu sein. D. Ü.

mag. Der hundert Meilen lange Draht bildet thatsächlich eine ungeheure Leydener Flasche, deren Durchmesser ungefähr $^1/_4$ Zoll beträgt, da der Kupferdraht $^1/_{16}$ Zoll Durchmesser und der Guttaperchaüberzug $^1/_{10}$ Zoll Dicke hat. Der Kupferdraht oder die innere Belegung dieser Flasche hat 8270 Quadratfuss Oberfläche, und die äussere Belegung, nämlich die die Guttapercha umhüllende Wasserschicht, 33 000. Aber abgesehen von dieser Fähigkeit, eine elektrische Ladung aufzunehmen, zu behalten und abzugeben, besitzt dieser Draht im Wasser eine sehr erstaunliche Eigenthümlichkeit, was seine Art, die Elektricität zu leiten, betrifft. Ich meine nicht etwa den schliesslichen Effect der Elektricität, der vielmehr bei derselben Drahtlänge derselbe ist, der Draht mag im Wasser oder an der Luft liegen, sondern dass die Zeit, welche erforderlich ist für die Fortpflanzung von Strömen von kurzer Dauer oder von Wellen elektrischer Kraft, im Verhältniss von 100 zu 1 und darüber verschieden ist, je nachdem der Draht sich in dem einen oder anderen der beiden genannten Media befindet.

Ueber elektrodynamische Induction in Flüssigkeiten.*)

An Aug. de la Rive, For. Mem. R. S. etc.

Royal Institution,
7. März 1854.

Mein lieber Freund,

Ihre Frage, „ob es mir je gelungen ist, ausser in Quecksilber und geschmolzenen Metallen auch in anderen Flüssigkeiten, wie beispielsweise in Säure- oder Salzlösungen, Inductionsströme hervorzubringen“, hat mich veranlasst, einige Versuche hierüber anzustellen. Denn wiewohl ich von der Möglichkeit solcher Ströme überzeugt war, so hatte ich doch niemals gesicherte Resultate erhalten, wie es nunmehr jedoch der Fall ist. Ich sende Ihnen eine Beschreibung des von mir eingeschlagenen Verfahrens. Ein kräftiger hufeisenförmiger Elektromagnet, der mit einer Grove'schen Batterie von zwanzig Elementen verbunden war, hatte aufwärts gekehrte Pole, deren flache Endflächen von etwa 3,5 Quadratzoll Querschnitt in derselben Horizontalebene lagen und über 6 Zoll von einander abstanden. Als Anker oder Submagnet diente ein 8 Zoll langer und 1,7 Zoll dicker cylindrischer Stab von weichem Eisen. Die cylindrische Gestalt wählte ich, erstens weil sich um den Cylinder am leichtesten eine Flüssigkeitsspirale herumlegen liess; zweitens weil bei Anwendung des Cylinders als Anker das Steigen und Fallen der magnetischen Stärke des Magnets sowohl als auch des Ankers bei Schliessung und Oeffnung der Batterie innerhalb viel weiterer Grenzen und weit schneller erfolgt, als bei Anwendung eines Ankers von rechteckiger oder flacher Gestalt; denn letzterer hat bei geeigneter Masse, wie Sie wissen, die Fähigkeit, den magnetischen Zustand des Magnets bei Unterbrechung des Stromes in sehr starkem Maasse aufrecht zu erhalten. Um diesen Anker wurde eine Flüssigkeitsspirale von einer Gesammtlänge von 7 Fuss in 12 Windungen herumgelegt. Die Flüssigkeit selbst hatte nur 0,25 Zoll Durchmesser; denn es kam mir mehr darauf an, durch In-

---

*) Bibl. univ. de Genève (Archives des Sc. phys. et nat.) 1854, XXV, 267. Phil. Mag. 1854, VII, 265. D. Ü.

duction in allen Punkten der gesammten Länge der Spirale einen Strom von einer gewissen Spannung zu erhalten, als seine Stärke durch Vergrösserung des Durchmessers derselben, d. h. durch Verkürzung der Flüssigkeitsmasse zu steigern.

Die Spirale bestand aus einer 8,5 Fuss langen vulkanisirten Kautschukröhre von 0,25 Zoll innerem und 0,5 Zoll äusserem Durchmesser. Eine solche Röhre ist stark genug, um bei Wickelung um den Eisencylinder nicht zusammenzusinken. Die zwölf Windungen nahmen eine Strecke von 6 Zoll ein, und zwei Stücke von je 9 Zoll bildeten die Enden. Die Spirale liess sich bequem und vollständig füllen, indem man sie aufrecht hielt, das untere Ende in die anzuwendende Flüssigkeit tauchte und am oberen die Luft aussog. In die Enden der Röhre führte man zwei lange, blanke Kupferdrähte von 0,25 Zoll Durchmesser ein, schob sie vorwärts, bis sie die Windungen erreichten, band sie an der Röhre fest und stellte so eine leitende Verbindung zwischen der Flüssigkeitsspirale und dem Galvanometer her. Das Ganze wurde dann an einem Holzrahmen befestigt, um die Spirale, wenn sie hin und her bewegt wurde, vor Druck und Beschädigung zu schützen. Die in der Spirale enthaltene Flüssigkeit betrug auf die Länge von 7 Fuss etwa 3 Cubikzoll. Das Galvanometer bestand aus 310 Windungen Kupferdraht von $^1/_{30}$ Zoll Durchmesser und 164 Fuss Gesammtlänge; es war 18 Fuss vom Magnet entfernt und mit der Spirale durch dicke Drähte, die in Quecksilbernäpfe tauchten, verbunden. Es befand sich mit den Magnetpolen in gleicher Horizontalebene und erfuhr durch dieselben nur eine sehr geringe directe Einwirkung.

Die Spiralröhre wurde mit einem Gemisch von einem Volumen concentrirter Schwefelsäure und drei Volumina Wasser gefüllt, auf den Anker geschoben und nun das Ganze so an die Magnetpole angelegt, dass die Enden der kupfernen Zuleitungsdrähte der Röhre den Eisencylinder oder Anker überragten, und so weit darüber gelegt, dass sie die durch seine Axe gehende Verticalebene erreichten. In dieser Lage hatten die magnetischen Kraftlinien keine Tendenz, in den metallischen Verbindungsstücken einen Strom zu induciren. Die äusseren Enden der kupfernen Zuleiter wurden mit einander verbunden und das Ganze eine Weile sich selbst überlassen, damit jeder Volta'sche Effect, der durch den Contact der Säure mit dem Kupfer etwa entstehen konnte, sich abschwäche oder erschöpfe. Hierauf wurden die Drahtenden wieder getrennt und die Verbindungen mit dem Galvanometer so hergestellt, dass sie in einem Augenblick unterbrochen, wiederhergestellt oder in den Quecksilbernäpfchen vertauscht werden konnten. Bei der Unterbrechung kam die gesammte Intensität der Batterie für die Erregung des Magnets zur Geltung und man beobachtete dann die *directe* Wirkung des Magnets auf das Galvanometer. Die Spirale war so angeordnet, dass ein etwaiger Inductionsstrom in ihr das Galvanometer in entgegengesetztem Sinne ablenken musste als die direkte Wirkung des Magnets, wodurch

beide Effecte besser von einander gesondert erschienen. Hierauf wurde die Batterie geöffnet, und sobald die nun umgekehrte Wirkung vorüber war, wurde die Verbindung der Spirale mit dem Galvanometer wieder hergestellt; hierbei erhielt man durch den Volta'schen Strom, der durch die Wirkung der Säure in der Spiralröhre auf die Kupferelektroden entstand, eine Ablenkung von nur 2^0. Gleichzeitig erhielt man so die Gewissheit, dass die Verbindungen überall gut waren, und da der Strom überdies sich als constant erwies, da die Ablenkung dieselbe blieb, so konnte er von dem schliesslichen Resultat leicht unterschieden werden. Endlich wurde die Batterie mit dem Elektromagnet verbunden und sogleich wurde das Galvanometer abgelenkt; bei Unterbrechung der Batterie wurde es in entgegengesetztem Sinne abgelenkt, so dass durch einen mehrmaligen Wechsel den Nadeln eine beträchtliche Ablenkung ertheilt werden konnte. Sie vollführten auch ihre Bewegung in der oft bei Inductionsströmen beobachteten eigenthümlichen Weise, wie wenn sie durch einen Impuls oder Stoss angetrieben würden im Moment der Erregung und der Abnahme des Magnetismus, und zwar erfolgte die Bewegung im *entgegengesetzten* Sinne wie die durch die unmittelbare Wirkung des Magnets hervorgerufene. Die Wirkungen waren, wie das Galvanometer anzeigte, constant und kehrten sich um, wenn die Zuleitungsdrähte mit einander vertauscht wurden. Einen weiteren Beweis dafür, dass die Ablenkungen von in der Flüssigkeitsspirale inducirten Strömen herrührten, erlangte man dadurch, dass ein Kupferdraht nur einmal in derselben Richtung wie die Flüssigkeitsspirale um den Anker herumgelegt und der Magnet durch ein einziges Plattenpaar erregt wurde. Der in dem Kupferdraht inducirte Strom war viel stärker als der in der Flüssigkeitsspirale, hatte aber stets dieselbe Richtung.

Nach diesen Versuchen mit der gut leitenden Flüssigkeit, der verdünnten Säure, wurde die Spirale entleert, ein Wasserstrom einige Zeit hindurchgesandt und darauf mit destillirtem Wasser gefüllt, das man einige Zeit darin liess, um es durch frisches zu ersetzten und somit unter im Uebrigen gleichen Umständen wie vorher eine Spirale aus reinem Wasser dem Versuch zu unterwerfen. Die directe Wirkung des Magnets war dieselbe wie in dem vorigen Falle, allein es zeigte sich keine Spur eines Volta'schen Stromes, wenn die Verbindung mit dem Galvanometer hergestellt wurde; ebensowenig erhielt man beim Erregen oder Verschwinden des Magnetismus ein Anzeichen eines Inductionsstromes. Reines Wasser ist ein zu schlechter Leiter, um mit einem Magnet von der angewandten Stärke und einem Galvanometer von der benutzten Empfindlichkeit eine merkliche Wirkung zu geben.

Ich entfernte nun die Spirale von dem Anker, der an den Polen angelegt blieb, und stellte eine mit der früher benutzten Schwefelsäure gefüllte Glasschale darunter. Die Flüssigkeit bildete so eine horizontale Scheibe von nahezu 6 Zoll Durchmesser und einem Zoll Tiefe in einem Abstande von 0,25 Zoll von dem Anker. In diese Säure tauchten zu beiden Seiten

des Ankers und ihm parallel zwei wenigstens 5 Zoll von einander abstehende lange, blanke Platinplatten. Dieselben blieben zunächst einige Zeit mit einander verbunden, damit ein etwaiger Volta'scher Effect sich erschöpfe, und dann ihre Verbindungen mit dem Galvanometer so hergestellt wie in den früheren Fällen. Man erhielt nunmehr Inductionsströme wie in dem ersteren Falle, doch waren sie nicht ebenso stark. Die Richtung derselben war gleich der eines in einem einzelnen zwischen der Flüssigkeit und dem Anker hingeführten Kupferdraht inducirten Stromes, wobei der Magnet durch ein einziges Element erregt wurde. Hier liegt jedoch die Möglichkeit vor, dass der Strom zum Theil oder ausschliesslich in den mit den Platinplatten verbundenen Theilen der Zuleitungsdrähte erregt worden sei; denn da ihre Enden unter dem Anker fortgingen und demnach in den von diesem und dem Magnet gebildeten Magnetkraftkreis *eintraten*, so befanden sie sich in solcher Lage in dem Bereich der Kraftlinien, dass ein Strom in ihnen inducirt werden musste, und der inducirte Strom kann, wie ich 1831 gezeigt habe, stark genug werden, um durch die Flüssigkeit zu gehen. Da jedoch gegen den Versuch mit der Spirale dieser Einwand nicht erhoben werden kann, so zweifle ich nicht, dass in der in der Schale enthaltenen Flüssigkeit gleichfalls ein schwacher Strom inducirt wurde.

Somit betrachte ich die Entstehung von Inductionsströmen in nicht metallischen Flüssigkeiten als erwiesen, und soweit ich es beurtheilen kann, ist ihre Stärke proportional dem Leitungsvermögen des Körpers, in dem sie erregt werden. In der verdünnten Schwefelsäure waren sie natürlich stärker als die unmittelbare Ablenkung des Galvanometers angab, da sie zunächst die durch die directe Wirkung des Magnets hervorgerufene entgegengesetzte Ablenkung aufzuheben hatten, so dass die Summe beider Ablenkungen den thatsächlichen Ausdruck der Stärke des Inductionsstromes bildet. Ob die Leitung, vermöge welcher sie auftreten, elektrolytischer Natur ist oder den Charakter der eigentlichen Leitung hat, vermag ich nicht zu sagen. Die vorliegenden Erscheinungen tragen zur Entscheidung dieser Frage nichts bei, da der Inductionsstrom sowohl bei dem einen Vorgang als auch bei dem anderen bestehen kann. Ich glaube, dass die Flüssigkeiten Leitung im eigentlichen Sinne besitzen und dass ein sehr schwacher Inductionsstrom lediglich vermöge dieser die Flüssigkeit durchsetzen kann, nur eine Tendenz zur Elektrolyse zeigend, während ein stärkerer Strom theils vermöge ersterer, theils vermöge seiner voll zur Geltung kommenden elektrolytischen Wirkung hindurchgehen kann.

Ich bin, mein theurer Freund,

Ihr ganz ergebener

M. Faraday.

Ueber elektrische Leitung.*)

Seitdem das Gesetz der festen elektrolytischen Action zuerst ausgesprochen wurde (Experim. Untersuch. 783—966), wird die Frage discutirt, ob die zur Classe der Elektrolyte gehörenden Körper nur leiten, insofern sie unter dem Einfluss des elektrischen Stromes eine Aenderung ihrer Zusammensetzung erleiden, oder ob sie auch nach Art der Metalle, des trockenen Holzes, des Wallraths etc., nur in verschiedenem Grade, zu leiten vermögen, d. h. ohne gleichzeitig eine chemische Aenderung zu erleiden. Die erste Art von Leitung bezeichnet man als die *elektrolytische*, es ist die Uebertragung der elektrischen Kraft, die offenbar wesentlich gebunden ist an die dabei auftretenden chemischen Aenderungen. Die zweite Art kann man als *eigentliche Leitung* bezeichnen; der Act der Leitung lässt hier den Körper ungeändert. Elektrolytische Leitung ist an den flüssigen Zustand und an die zusammengesetzte Natur und die chemischen Verhältnisse der Körper gebunden und diese Leitung der Körper soll graduell verschieden sein je nach den Affinitäten der Bestandtheile derselben. Es giebt jedoch noch andere Umstände, welche offenbar und sogar sehr stark die Uebertragungsfähigkeit beeinflussen, wie die Temperatur, die Gegenwart fremder Substanzen etc. Die eigentliche Leitung weist so grosse graduelle Verschiedenheiten auf, dass dieselbe Elektricitätsmenge, welche eine hundert Meilen lange Strecke der einen Substanz, beispielsweise Kupfer, in unmerklich geringer Zeit durchsetzen könnte, Aeonen brauchen würde, um eine gleiche Strecke in einer anderen Substanz, wie etwa Schellack, zurückzulegen. Dennoch besitzt einerseits Kupfer und die ihm analogen Substanzen Leitungswiderstand und andererseits leiten Schellack und die ihm verwandten Körper.

Bei den Fortschritten und Anforderungen der Wissenschaft ist es in den letzten drei bis vier Jahren und insbesondere gegenwärtig wichtig geworden, die Frage, „ob ein Elektrolyt im eigentlichen Sinne leitet“, eingehend zu untersuchen, und die Versuche, welche geeignet sind, die Frage zu ergründen, sind auf einen hohen Grad von Feinheit gebracht worden.

---

*) Proceedings of the Royal Instit. of Great Britain, vol. II, 1854—1858, p. 123; May 25, 1855. Philosophical Magazine, 1855, Ser. 4, vol. X, p. 98. D. U.

Buff[1]) hat unter Anwendung Wollaston'scher Elektroden, das sind in Glasröhren eingeschmolzene Platindrähte, von denen nur die Enden frei liegen mittelst der Elektrisirmaschine Wasser durch eine so geringe Elektricitätsmenge zersetzt, dass vier Stunden erforderlich waren, um nur soviel Gas zu sammeln, als zur Füllung eines Cylinders von nur $^1/_5$ Zoll Länge und $^1/_{10}$ Zoll Durchmesser hinreichend war; dennoch war die Zersetzung elektrolytisch und polar und daher auch die Leitung elektrolytischer Art. Wenn sich nun ein Pol in Wasser und der andere darüber an der Luft befand, so war doch die Zersetzung und folglich auch die Leitung elektrolytisch. Denn das eine Element erschien an dem im Wasser befindlichen Pole und das andere an dem anderen Pole in der Luft oder dem Gase über dem Wasser. Buff schliesst daraus, dass Elektrolyte nicht im eigentlichen Sinne leiten. Mehrere andere Physiker vertreten mehr oder weniger überzeugend dieselbe Ansicht und meinen, dass elektrolytische Leitung sich weiter erstreckt, als man glaubte, und dass dazu auch Fälle gehören, die man früher zu der eigentlichen Leitung rechnete. Soret hat gewisse experimentelle Ergebnisse veröffentlicht[2]), spricht jedoch seine Meinung nicht unbedingt aus. Von Breda und Logeman adoptiren die allgemeinere Ansicht ohne Vorbehalt.[3]) De la Rive hält es, glaube ich, für möglich, dass sehr geringe Elektricitätsmengen durch eigentliche Leitung fortgepflanzt werden, dass aber Elektrolyte wesentlich elektrolytisch leiten.[4]) Mateucci hat früher einen geringen Grad von eigentlicher Leitung angenommen, aber nun bestreitet er, wie ich glaube, die Existenz einer solchen vollständig. Andererseits haben Despretz[5]), Léon Foucault[6]), Masson[7]) und ich selbst es stets für möglich gehalten, dass Elektrolyte einen gewissen Grad von eigentlicher Leitung besitzen, einen geringen freilich, aber doch nicht so gering, dass er nicht bei gewissen Versuchsanordnungen hervorträte, und so schön und genau auch die elektrolytischen Vorgänge dargethan worden sind, so erscheinen sie uns doch nicht ausreichend, um zu beweisen, dass den Elektrolyten die Function der eigentlichen Leitung fehlt.

(Hier wurden einige Versuche und Argumente nach beiden Richtungen hin mitgetheilt; ferner geschah der auffallenden Thatsache Erwähnung, dass, wenn ein elektrischer Strom, wie schwach er auch sei, durch eine zwei Platinplatten in verdünnter Schwefelsäure enthaltende Zelle gesandt wird, die Platten sich hierdurch elektrisch polarisirt erweisen.)

---

[1]) M. S. letter.
[2]) Annales de Chimie, XLII, 257.
[3]) Phil. Mag., VIII, 465.
[4]) Bibl. de Genève, XXVI, 134, 144; XXVII, 177.
[5]) Comptes rendus, XXXVIII, 897.
[6]) Comptes rendus, XXXVII, 580, oder Bibl. de Genève, XXIV, 263; XXV, 180; XXVI, 126.
[7]) Prize Essay, Haarlem Trans. XI, 78.

Die Untersuchung hinsichtlich der Elektrolyte ist nach drei Richtungen hin zu führen. Es wäre möglich, dass die Elektrolyte unter allen Umständen einen gewissen Grad von eigentlicher Leitung besitzen, oder dass ihnen diese Eigenschaft völlig abgeht, oder dass sie bis zu einem gewissen Zustande, der von der zur Elektrolyse erforderlichen Intensität oder von anderen Umständen bedingt ist, eigentliche Leitung besitzen, die, wenn jener Zustand erreicht ist, in elektrolytische Leitung übergeht. Die Untersuchung nach diesen drei Richtungen wäre ferner auszudehnen auf den Einfluss, den der physikalische Zustand des Elektrolyts auf die Leitung desselben hat, je nachdem derselbe fest oder flüssig, warm oder kalt, rein ist oder andere Substanzen beigemengt enthält.

Seitdem ich selbst diese Frage aufwarf, seit zwanzig Jahren bis heute hielt ich es für nothwendig, mit meinen Schlüssen zurückzuhalten. Freilich haben diejenigen, welche meinen, stets Zersetzungen erhalten zu haben, wenn ein Elektrolyt in den Stromkreis eingeschaltet war, bisweilen mit grösstem Nachdruck auf die Thatsachen hingewiesen, und ich hätte die Thatsachen und die daraus gezogenen Schlüsse willig können gelten lassen, wenn ihnen nicht Erwägungen entgegenständen, die mich eben zwingen, mit meinem Urtheil zurückzuhalten. Zunächst giebt man zu, dass alle nicht elektrolytischen Körper, selbst die Gase (Becquerel) im eigentlichen Sinne leiten; man hat daher a priori Grund zu erwarten, dass auch die Elektrolyte dieses Vermögen besitzen. Wenn wir unter den Körpern nur die zur Classe der Elektrolyte gehörigen in Betracht ziehen, so wissen wir, dass zwar die Elektricitätsmenge von gegebener Intensität, welche diese im *flüssigen* Zustande elektrolytisch übertragen können, oft fast unendlich grösser ist als die, welche sie im *starren* Zustande durch eigentliche Leitung fortpflanzen können, aber dennoch zeigt sich in diesem letzteren Falle ganz unzweifelhaft Leitung. Vollkommen trockener Salpeter im starren Zustande und viele andere Elektrolyte entladen ein Goldblattelektrometer sehr leicht und zwar, wie ich glaube, in Folge eines eigentlichen Leitungsvermögens. Wenn daher der Salpeter durch Uebergang in den flüssigen Zustand die Fähigkeit der elektrolytischen Leitung in ausgeprägtester Weise annimmt, so mag diese zwar die eigentliche Leitung zeitweilig völlig überdecken und unwahrnehmbar machen, aber ich vermag hierin keinerlei Beweis für das völlige Verschwinden der letzteren, die dem Körper im starren Zustande eigen war, zu erblicken. Diese Erwägungen gründen sich jedoch nicht auf ein positives Resultat in diesem Sinne, sondern leiten ihre Berechtigung nur daraus ab, dass auf der Gegenseite ein strenger und entscheidender Beweis fehlt; es fiel mir jedoch ein, dass die Erscheinungen der statischen Elektricität uns manche positiven Gründe liefern zu Gunsten der Annahme, dass flüssige Elektrolyte ein eigentliches Leitungsvermögen besitzen. Einige derselben will ich versuchen, kurz auseinanderzusetzen und zur Aufhellung des Gegenstandes

auf das Wasser verweisen, das im reinen Zustande nur einen geringen Grad von elektrolytischer Leitung besitzt.

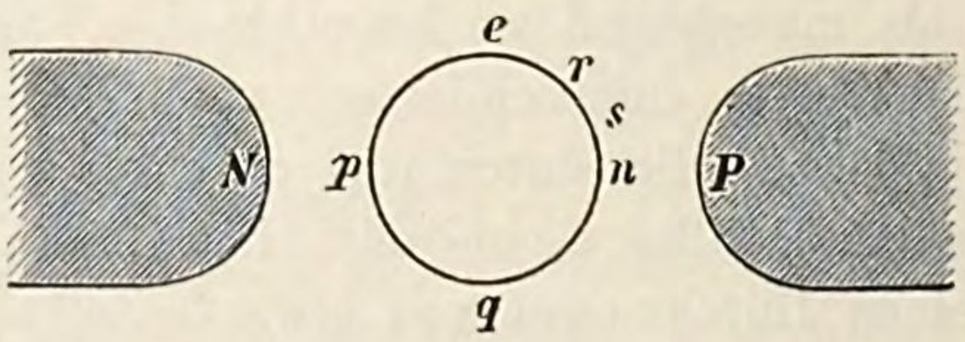
Die gewöhnlichen Erscheinungen der statischen Ladung und Induction sind wohlbekannt. Wird ein elektrisirter Glasstab oder anderer Körper einer an einem in der Hand gehaltenen Metalldraht hängenden vergoldeten leichten Kugel genähert, so wird die Vertheilung der Elektricität auf der Kugel durch die Induction gestört und diese von dem Glasstab kräftig angezogen. Dasselbe Resultat erhält man, wenn man anstatt der Kugel eine Seifenblase benutzt. Wird eine mit reinem destillirten Wasser gefüllte Schale mittelst angefeuchteten Fliesspapiers mit der Erde verbunden, 2 bis 3 Zoll über der Mitte der Wasserfläche eine elektrisirte Schellackkugel gehängt und ein etwa 8 Zoll langer und 2 Zoll breiter isolirender Streifen von trockener Guttapercha dazwischen geschoben, so wird man ihn, wenn man ihn fortzieht, frei von Ladung finden, selbst wenn er die Schellackkugel berührt hatte. Wenn er jedoch das unter der Schellackkugel befindliche Wasser berührt hatte (oder auch darin eingetaucht war), so dass er beim Fortnehmen mit einer Wasserschicht bedeckt bleibt, die mit der auf dem Wasser durch die Induction erregten Elektricität geladen ist, so wird man, wie zu erwarten, finden, dass er eine der inducirenden Schellackkugel entgegengesetzte Ladung besitzt.

Um von dem als massgebend zu betrachtenden Versuch jeden anderen leitenden Körper als Wasser auszuschliessen, nahm ich zwei runde, dicht genähte Beutel von Calico, die durch und durch mit destillirtem Wasser angefeuchtet wurden, und füllte sie mittelst einer feinen Löthrohrspitze mit Luft. Sie hatten einen Durchmesser von etwa 3 Zoll, und wenn sie an zwei sie gut isolirenden Guttaperchastreifen so aufgehängt waren, dass sie einander berührten, so bildeten sie ein Doppelsystem von 6 Zoll Länge. Eine mit der Elektrisirmaschine verbundene Metallkugel von etwa 4 Zoll Durchmesser bildete den inducirenden Körper, eine etwa 9 Zoll davon entfernt aufgestellte zur Erde abgeleitete Messingscheibe den inducirten Körper, und zwischen dieselben konnten die combinirten Wasserbälle geschoben werden, so dass sie gleichfalls der Induction ausgesetzt waren. Wenn nun die elektrische Ladung so schwach war, dass die feuchte Atmosphäre keine Elektricität übertrug, so konnten die Bälle an ihren Platz gebracht und wieder fortgenommen werden, ohne eine dauernde Ladung zu erhalten. Wenn unter diesen Umständen die Bälle zusammen an ihren Ort, wo sie der Induction ausgesetzt waren, gebracht und dann von einander getrennt und wieder fortgezogen wurden, so zeigte sich der eine positiv, der andere negativ geladen, und zwar entstammte die Elektricität ihnen selbst, war ihnen aber nicht durch Leitung oder Convection von einem anderen Körper als dem Wasser, das sie enthielten, mitgetheilt.

Es ist ja bekannt, dass wir bei allen elektrostatischen Anordnungen Metalle durch Wasser ersetzen und so Leydener Flaschen, Condensatoren

und andere Inductionsapparate herstellen können, welche in principieller Hinsicht als vollkommen zu betrachten sind, wenn auch ihre Wirkung unvollkommen ist. Das Princip bleibt dasselbe, ob wir als Leiter Wasser oder Metalle anwenden, und die Function der Leitung ist bei allen diesen Vorgängen wesentlich. Demnach kann man dem flüssigen Wasser die Leitung nicht absprechen, da dieses in allen solchen Fällen den einzigen Leiter bildet. In der Natur sind ja die Inductionserscheinungen, welche im Gewitter ihre höchste Intensität erreichen, fast gänzlich, wenn nicht überhaupt von dem Wasser bedingt, das hierbei auf der Erde, in den Wolken oder als Regen durch sein Leitungsvermögen eine Rolle spielt, und wenn dieses den Charakter der *eigentlichen Leitung* besitzt, so ist es wahrscheinlich, dass diese Function einen so weiten Bereich hat und von solcher Bedeutung ist, wie irgend eine Aeusserung der elektrolytischen Leitung des Wassers in anderen Naturerscheinungen.

Man könnte jedoch sagen, dass alle diese Vorgänge, bei denen Leitung auftritt, einen entsprechenden und verhältnissmässigen elektrolytischen Effect einschliessen, und dass dies demnach Fälle von elektrolytischer Leitung sind. Das Folgende soll daher die Meinung begründen, dass das Wasser im eigentlichen Sinne leitet. Denn gesetzt, ein Wasserbläschen befinde sich



mitten zwischen einer positiv und einer negativ geladenen Fläche, wie in der Figur, so werden die Theilchen bei p positiv und die bei n negativ geladen sein, und zwar lediglich durch die Störung der ursprünglich in dem Bläschen enthaltenen Elektricität, d. h. ohne eine directe Uebertragung der elektrischen Kraft von N oder P. Die Theilchen bei e und q werden nicht elektrisch geladen sein, und von diesen ab steigt die Ladung allmählich zu einem Maximum in p und n an. Die bei p und n und sonst auftretende Elektricität ist durch *Leitung* von anderen Punkten des Bläschens hierher gelangt, und wenn man das Bläschen durch zwei metallische Halbkugeln ersetzt, die an dem äquatorialen Theile eq durch einen kleinen Zwischenraum von einander getrennt sind, so wird man die (vorher in dem zusammenhängenden Wassertropfen *geleitete*) Elektricität hier in einem hellen Funken übergehen sehen. Nun kann man die Theilchen an irgend einer Stelle des Wassertropfens unter zwei Gesichtspunkten betrachten: entweder dass ein Strom durch sie gegangen ist, oder dass sie eine Ladung erhalten haben; in beiden Fällen giebt die Vorstellung einer eigentlichen Leitung ausreichende und befriedigende Rechenschaft von den Resultaten, wogegen die

Vorstellung der elektrolytischen Leitung mir einstweilen mit Schwierigkeiten behaftet zu sein scheint. Denn die Theilchen am Aequator eq weisen schliesslich keine Ladung auf, dennoch *haben* sie *geleitet*, wie die beiden oben erwähnten Halbkugeln zeigen; und dass sie sich auch nicht in einem Zustande wechselseitiger Spannung befinden, lässt sich durch sehr einfache Versuche mit den Halbkugeln vollkommen beweisen. Demnach müsste Sauerstoff von e nach n, Wasserstoff von e nach p, d. h. zu den Stellen hin gegangen sein, zu denen die Elektricität geleitet worden ist, denn ohne einen solchen Transport der Anionen und Kationen könnte keine Uebertragung der Elektricität und somit keine elektrolytische Leitung stattfinden. Alsdann aber entsteht die Frage, wo denn diese Elemente erscheinen? Ist das Wasser bei n mit Sauerstoff, das bei p mit Wasserstoff bereichert worden? Und sollen die Elemente sich schliesslich an diesen zwei Punkten in die Luft zerstreut haben, wie bei Zersetzungen an Luft-Polen? (Exp. Unters. 455, 461 etc.). Bei diesen Fragen drängen sich noch andere, die Theilchen bei p und n und den von ihnen angenommenen Ladungszustand betreffende Erwägungen auf. Dieselben haben die Elektricität aufgenommen, die als Strom durch die äquatorialen Theile gegangen ist, aber durch sie selbst ist kein Strom oder kein proportionaler Strom gegangen; die Leitung hat sich *zu* ihnen hin aber nicht *durch* sie erstreckt; es ist beispielsweise keine Elektricität durch das Theilchen bei n oder bei p gegangen, aber dennoch ist vermöge einer Art Leitung mehr Elektricität zu ihnen als zu einem anderen Punkte des Wasserkügelchens gegangen. Es steht nicht im Einklang mit unserer Auffassung von elektrolytischer Leitung anzunehmen, dass diese Theilchen durch Leitung dieser Art ihre Ladung erhalten haben, denn bei diesem Vorgang ist es ebenso nothwendig, dass die Elektricität das zu zersetzende Theilchen an der einen Seite *verlasse*, wie dass sie an der anderen Seite *zu ihm hingehe.* Das blosse Entweichen von Sauerstoff und Wasserstoff in die Luft ist kein genügendes Zeichen des schliesslichen Vorganges, denn ein solches Entweichen kann leicht stattfinden, wenn nur Elektroden in Wasser gestellt werden; wenn jedoch die Elektricität nicht von den zu zersetzenden Theilchen in die Elektroden eintreten und von hier weiter durch die Drähte gehen kann, derart dass sie an jeder Stelle des Kreises eine vollständig äquivalente Arbeit zu leisten vermag, so findet weder eine Zersetzung an den Grenztheilchen des Elektrolyts noch eine elektrolytische Leitung durch seine Masse statt. Selbst bei den oben erwähnten Luft-Polen erfolgt die Uebertragung der Elektricität vollständig durch die Grenztheilchen des Elektrolyts hindurch.

Wenn die vorstehende Schlussfolge keinen Irrthum enthält, sondern damit als hinlänglich erwiesen angesehen wird, dass die Theilchen bei p und n nicht elektrolysirt werden, so ist damit zugleich auch bewiesen, dass kein Theilchen zwischen p und n elektrolysirt worden ist; denn wenn auch durch ein Theilchen bei e oder q ein Elektricitätsstrom hindurchgegangen

sein konnte, so würde es doch nicht in seine Elemente zerfallen können, wenn nicht die Nachbartheilchen bereit wären, sie in äquivalentem Maasse aufzunehmen. Die Elektrolyse bei n und p aufhören zu lassen oder bei denjenigen Punkten der Oberfläche, wo die Bewegung der Elektricität aufhört, heisst zufolge unseren Ansichten über Elektrolyse, sie bei allen dazwischen liegenden Theilchen aufhören zu lassen, und die Elektrolyse aufhören lassen, heisst elektrolytische Leitung ausschliessen. Somit bleibt nur die *eigentliche Leitung*, um die in dem vorliegenden Falle ganz unzweifelhaften Leitungsvorgänge zu erklären.

Man könnte denken, dass in diesen Fällen von statischer Induction ein zwischen dieser und der elektrolytischen Leitung intermediärer polarer Spannungszustand (Exp. Unters. 1164), oder dass ein gewisser vorbereitender und gleichsam unvollendeter Zustand eintrete, welcher einen Unterschied ausmache zwischen dem meiner Betrachtung zu Grunde liegenden Fall von statischer Leitung bei Wasserkugeln und demselben Fall bei Anwendung von Metallkugeln. Vielleicht lernen wir einst einen derartigen Zustand kennen; allein bei unseren gegenwärtigen ganz bestimmten Vorstellungen von eigentlicher und elektrolytischer Leitung, darf man sagen, dass eine etwaige Entdeckung dieser Art dieselbe Wahrscheinlichkeit für sich hat, mit der ersteren wie mit der letzteren Vorstellung übereinzustimmen, obschon es am wahrscheinlichsten ist, dass sie beide ändern und berichtigen würde.

Kehren wir zurück zu der Betrachtung der Theilchen zwischen e und n, so sehen wir, dass sie eine continuirliche Reihe bilden, wir mögen ausgehen von dem Strome, der sie durchsetzt hatte, oder von der Ladung, die sie aufgenommen haben; das Theilchen bei e erhielt am meisten Strom, das bei n gar nichts davon und das bei r hatte mässigen Antheil daran, und andere Theilchen müssen alle dazwischen liegenden Bruchtheile desselben übertragen haben. So ist es auch in Anbetracht der Ladung; bei n ist die Ladung am stärksten, bei e ist sie Null und zwischen diesen beiden Punkten hat sie alle möglichen intermediären Werthe. Ferner sind es diese Oberflächentheilchen, die alle vorhandene Ladung, also alle ihnen zugeleitete Elektricität festhalten; folglich müssen alle elektrolytischen Erscheinungen hier zu Tage treten, und dies müsste der Fall sein, selbst wenn wir die Schale durch eine Wasserkugel ersetzen könnten. Denn wenn die elektrolytischen Vorgänge an denjenigen Theilchen, durch welche mehr Strom gegangen ist als durch andere, stärker sind, so kann die Elektricität, welche hauptsächlich, wenn nicht gänzlich, an diese anderen gebunden ist, zu denselben nur durch eigentliche Leitung gelangt sein, die für den Augenblick als nicht vorhanden angesehen wird. Wir wollen uns demnach zu Gunsten des Beweises für eine elektrolytische Leitung denken, dass die Leitung an den Oberflächentheilchen ende und die elektrolytischen Vorgänge sämmtlich hier zusammentreffen, und somit von dem früheren Ein-

wand, dass die Elektricität hierher gelangt und nicht hindurchgegangen sein soll, im Augenblick absehen. Fassen wir also ein Theilchen bei r ins Auge und denken uns, dass sein elektrolytischer Zustand der Elektricität, die zu ihm gelangt ist und ihn geladen hat, proportional sei, so können wir, da wir die Inductionswirkung beliebig abzuschwächen im Stande sind, annehmen, dass die Elektricität, die nur bis zu dem daselbst befindlichen Theilchen und nicht weiter geleitet worden ist, gerade ausreichend war, dasselbe zu zersetzen, und das untere, das aber nun ein Oberflächentheilchen ist, geladen zurückgelassen hat. In diesem Falle wird zu einem anderen stärker geladenen Theilchen, das n näher liegt, beispielsweise bei s, genug Elektricität geleitet sein, um zwei Wassertheilchen zu zersetzen; offenbar kann dies jedoch nicht das dem bei r nächste Theilchen sein, sondern es muss eine grosse Anzahl anderer Theilchen zwischen r und s in intermediären Ladungszuständen existiren. Nun entsteht die Frage, wie können diese Theilchen lediglich vermöge elektrolytischer Leitung diese intermediären Ladungen erhalten? Die elektrolytische Wirkung ist eine fest bestimmte, und die Theorie der elektrolytischen Leitung nimmt an, dass die Sauerstoff- und Wasserstoffpartikel bei ihrer Wanderung keine variable, sondern eine fest bestimmte Menge des Agens mit sich führen, die sie nicht theilen können, sondern die sie auf einmal einem ähnlichen Theilchen entnehmen und auf einmal an ein anderes Theilchen abgeben müssen. Wie kann demnach irgend eine Anzahl von Theilchen oder irgend eine Wirkung dieser Theilchen einen Bruchtheil der an jedes Partikel gebundenen Kraft führen? Es ist ohne Zweifel richtig, dass, wenn zwei geladene Theilchen ihre Kraft an ein oder drei oder mehrere Theilchen abgeben können, alsdann alle Schwierigkeit beseitigt wäre. Leitung im eigentlichen Sinne vermag dies, allein da wir uns nicht ein halb zersetztes Theilchen denken können, so vermag ich nicht zu sehen, wie dies durch elektrolytische Leitung geschehen könne, d. h. wie das Theilchen zwischen r und s auf den intermediären und unbestimmten Ladungszustand gebracht werden könne, wenn man leugnet, dass Leitung zu ihm und den es umgebenden Theilchen hin ohne Elektrolyse erfolgen könne.

Wenn man annimmt, dass die Theilchen zwischen e und n vermöge des *durch* sie gehenden Stromes elektrolytisch leiten (wir sehen dabei einstweilen, ausser von anderen ernstlichen Einwänden, auch von dem ab, dass die Producte der Elektrolyse sich nicht an den Stellen vorfinden, zu denen die Elektricität hingeführt worden ist), so behält doch das vorliegende Argument sein Gewicht. Bei r mag genug Elektricität hindurchgegangen sein, um zwei Wassertheilchen zu zersetzen, bei s mag sie nur zur Zersetzung eines Theilchens ausreichen, — wie kann ein Theilchen zwischen r und s die Elemente austauschen mit den Theilchen bei r oder s, wenn die Aenderung bloss eine elektrolytische sein soll? oder wie können, um die frühere Andeutung zu wiederholen, zwei Theilchen ihre Kraft einem

einzigen abgeben oder entnehmen? Noch viele andere Erwägungen drängen sich bei dem Beispiel eines dem Einfluss der statischen Induction ausgesetzten Wasserbläschens auf; allein die bereits eben geäusserten im Verein mit denen, welche den *Sitz* der elektrolytischen Wirkung betreffen, mag es sich um Strom oder um Ladung handeln, häufen so viele Schwierigkeiten an, dass sie für sich allein ausreichen, um mich im Augenblick jeglicher Schlussfolgerungen über den in Rede stehenden Gegenstand zu überheben.

Man kann das Leitungsvermögen des Wassers noch unter einem anderen Gesichtspunkte betrachten, nämlich im Hinblick auf die absolute Ladung, die den Flüssigkeiten mitgetheilt werden kann. Eine Elektrisirmaschine kann mittelst einer Spitze die benachbarten Lufttheilchen laden, die davonströmen. Dasselbe kann mit Theilchen von Camphin oder Terpentinöl oder auch Wasser geschehen, und wenn zwei mit dem Ruhmkorff-schen Apparat verbundene feine Metalldrähte, etwa in einem halben Zoll Abstand von einander in destillirtes Wasser getaucht werden, so sieht man bald an den in der Regel vorhandenen Staubtheilchen, wie das Wasser geladen wird und geladen in Strömen davongeht, die sich gegen einander in der Masse entladen. Eine solche Ladung ist jedoch nicht an Elektrolyse gebunden; die Bedingung der Elektrolysirung ist, dass die Elektricität durch das Wasser strömt und nicht plötzlich aufhört darin fortzuströmen. Die blosse Ladung des Wassers giebt uns keinen Aufschluss darüber, wo die durch Elektrolyse in Freiheit gesetzten Bestandtheile zu Tage treten können, und dennoch spielt die Leitung bei dem Ladungsvorgang eine grosse Rolle. Ein Regenschauer fällt durch einen elektrischen Einflüssen ausgesetzten Raum in der Atmosphäre, und jeder Tropfen wird geladen; eine sehr stark elektrisirte Fontaine kann einen Sprühregen aussenden: in beiden Fällen spielt die Leitung eine hervorragende Rolle, aber es erscheint mir sehr schwierig einzusehen, wie diese Leitung elektrolytischer Natur sein könne.

Werden entgegengesetzt elektrisirte Wassertropfen einander genähert, so wirken sie durch Convection, d. h. als Elektricitätsträger; sie entladen sich, wenn sie auf einander treffen, und die Function der Leitung ruht einstweilen. Wenn das oben p. 578 beschriebene Wasserbläschen dem Bereiche der Induction entzogen wird, so neutralisiren die entgegengesetzten Elektricitäten bei p und n einander, indem sie durch die Wassertheilchen zu einander geleitet werden. Sollen wir in diesen Fällen annehmen, dass die Leitung elektrolytischer Natur ist? Und wenn es so ist, wo werden denn die Bestandtheile getrennt, und wo treten sie in die Erscheinung? Man muss von seiner Meinung stark überzeugt sein, um den Elektrolyten bei diesen Vorgängen eigentliche Leitung abzusprechen; wenn man dieselben aber in den vorliegenden Fällen nicht leugnet, welchen Grund hat man, sie sonst durchaus zu leugnen.

Alles, was ich als Resultat dieser Betrachtung aussprechen kann, ist, dass die Frage unentschieden ist. Ich kann nicht sagen, dass die Existenz einer eigentlichen Leitung bei Elektrolyten widerlegt sei, und andererseits kann ich nicht behaupten, einen Fall zu kennen, wo ein Strom, wie schwach er auch sei, mittelst Platinelektroden durch angesäuertes Wasser ginge, ohne sie in einen Polarisationszustand zu versetzen. Es wäre möglich, dass den Metallflächen die besondere Function zukommt, die zur Entbindung der Elemente nothwendige Bedingung zu vervollständigen, während diese bei derselben Stärke der Elektrisirung ohne Anwesenheit der Metalle nicht in Freiheit gesetzt werden würden, und es könnte andererseits sein, dass, sobald die Metalle polarisirt sind, und als daraus sich ergebende Reaction ein Spannungszustand eintritt, Leitung im eigentlichen Sinne zwischen ihnen und dem Elektrolyt in gewissem Grade zugleich mit den elektrolytischen Vorgängen statthat. Es waltet kein Zweifel ob, dass, was die Elektrolyse und das Gesetz derselben betrifft, Alles so ist, als gebe es nur elektrolytische Leitung; betrachtet man jedoch statische Phänomene (die ebenso wichtig sind) und deren Uebergang in dynamische Erscheinungen, so ist es wahrscheinlich, dass eigentliche Leitung bei den Elekrolyten ebenso eine Rolle spielt, wie bei anderen zusammengesetzten Körpern, da ihre Existenz bisher nicht widerlegt, andererseits durch wichtige darauf hinweisende Thatsachen gestützt wird und daher wesentlich sein mag. Freilich stehen die Grenzen der elektrischen Intensität so weit von einander ab, und die Quantitäten, die die wesentlichen Erscheinungen jeder Art hervorbringen können und hervorbringen, sind im umgekehrten Sinne so unendlich verschieden, dass denjenigen, welche meinen, elektrolytische Leitung trete an Stelle der eigentlichen Leitung, anstatt anzunehmen, dass diese zurücktrete, ohne vernichtet zu werden, und dass sie gleichsam für Elektricität von grosser Quantität und geringer Intensität verschwinde, aber noch reichlich zugegen sei in allen natürlichen und künstlichen Erscheinungen, wie die beschriebenen, wo Intensität und Zeit sich vereinigen, um die in Rede stehenden Endresultate zu begünstigen, die beiden Arten von Leitung wohl als vollkommen gesondert erscheinen müssen.

Indess darf man Naturprincipien nicht dogmatisch behandeln, über ihr physisches Wesen keine Entscheidung ohne Beweis treffen. In der That sind die beiden Arten der elektrischen Action, die elektrolytische und die statische, so verschieden von einander und doch jede von solcher Wichtigkeit — die eine leistet Alles durch Quantität bei sehr niedriger Intensität, die andere liefert viele ihrer hauptsächlichen Resultate durch Intensität ohne entsprechende Quantität —, dass es gefährlich wäre, die eigentliche Leitung in einigen Fällen von statischer Induction, wo Wasser der Leiter ist, zu leugnen, während sie doch bekanntlich in vielen Fällen wesentlich ist, und zwar bloss deshalb zu leugnen, weil, wenn Wasser als Elektrolyt angewandt wird, elektrolytische Leitung in allen elektrolytischen Vorgängen wesentlich ist.

Ueber Ruhmkorff's Inductionsapparat.*)

Dieser Apparat besteht bekanntlich aus einem Kern von weichem Eisen, der magnetisch wirken soll und umgeben ist von einer Spirale aus dickem Kupferdraht, die mit einer Volta'schen Batterie von beliebiger Elementenzahl verbunden werden kann. Diese Spirale ist von einer zweiten aus viel dünnerem Kupferdraht von grosser Länge umgeben, in welcher die dem Apparat eigenthümlichen Ströme hervorgerufen werden. Die Drahtwindungen sind sehr sorgfältig von einander isolirt. Die innere Spirale, welche die primäre heisst, ist mit einer automatischen Vorrichtung versehen, durch die der Batteriestrom rasch nach einander unterbrochen und wieder geschlossen wird, so dass dieselbe nicht von einem einzigen constanten Strome, sondern von einer Reihe rasch auf einander folgender, kurz dauernder intermittirender Ströme durchflossen wird. Die Enden der äusseren Spirale, gewöhnlich die secundäre genannt, sind von einander getrennt und können entweder durch einen Metalldraht mit einander verbunden werden, oder es kann ein beliebiger Zwischenraum zwischen ihnen bleiben, in welchem die Wirkungen des Inductionsstromes in die Erscheinung treten und dessen Eigenschaften mittelst Apparate untersucht werden können.

Wenn der secundäre Kreis in sich metallisch geschlossen ist, so ruft jeder kurz dauernde Strom in der primären Spirale, gemäss wohlbekannten Gesetzen (Experim. Untersuch. 10 etc.), in der ersteren nach einander zwei einander entgegengesetzt gerichtete Ströme hervor, und wenn in den secundären Kreis ein Galvanometer eingeschaltet ist, so sieht man, wie die Nadel unmittelbar nach Herstellung der Verbindung des primären Drahtes mit der Batterie in der einen Richtung abgelenkt wird, langsam hin und her schwingt und dabei seltsame zitternde Bewegungen ausführt (die man alsbald erkennt), bis sie zur Ruhe kommt. Bei Unterbrechung des primären Stromes wird die Galvanometernadel in der anderen Richtung abgelenkt und bleibt nach einigen Schwingungen in der Nulllage stehen. Nachdem gezeigt worden, dass die Summe der alternirenden Inductionsströme der

---

*) Proceed. of the Royal Instit. of Great Britain, vol. II, 1854—1858, p. 139.
D. Ü.

Null gleich ist, wurde auseinandergesetzt, wie, wenn der secundäre Kreis im geringsten unterbrochen ist, sei es auch nur durch ein Haar oder ein Stück Papier, alle Ströme der einen Art, die der Entstehung der kurz dauernden inducirenden Ströme in dem primären Draht ihr Dasein verdanken, von dem secundären Draht abgeschnitten sind (indem sie in dem primären Draht selbst verbraucht werden) und nur diejenigen daselbst zur Wirkung gelangen, die von dem Verschwinden der primären Ströme herrühren, so dass die secundäre Spirale alsdann eine continuirliche Reihe intermittirender (aber nicht alternirender) Ströme liefert, die also sämmtlich dieselbe Richtung haben.

Hierauf wurde auf den merkwürdigen Charakter der Elektricität dieser Ströme hingewiesen und derselbe dargethan. Ihre Intensität ist so gross, dass sie eine Luftstrecke von $^1/_3$ oder $^1/_2$ Zoll durchbrechen kann, während die Intensität des inducirenden Stromes so schwach ist, dass sie keine merkliche Schlagweite hat. Es wurde aber auch gezeigt, dass, je grösser die Intensität der Elektricität war, desto kleiner die Kraftmenge war, die durch die Thätigkeit derselben Batterie und desselben Apparates in einer gegebenen Zeit übertragen wurde; dass ferner bei der möglich geringsten Unterbrechung des secundären Kreises, etwa durch eines Haares Breite, die grösste Elektricitätsmenge durch das in denselben eingeschaltete Galvanometer ging. Die Fähigkeit des Inductionsstromes, eine sechs Zoll lange oder noch grössere Strecke verdünnter Luft zu durchsetzen, wurde nach Art von Gassiot's Cascade[1]) gezeigt, und die Umwandlung der dynamischen Kraft des primären und inducirenden Stromes in die statische Kraft der inducirten Elektricität durch Ladung von Elektrometern und Leydener Flaschen dargethan.

Ist der secundäre Kreis, wie eben beschrieben, unterbrochen, so bringt die inducirende Kraft des primären Stromes in dem primären Drahte selbst gewisse schädliche oder störende Wirkungen hervor. Fizeau brachte an den nahe dem Unterbrecher befindlichen Stellen des primären Kreises eine Leydener Flasche (oder eine entsprechende Vorrichtung) an und entzog hierdurch diese Extrawirkung zur rechten Zeit und verwandte sie an der Hand von Principien, die der statischen Induction angehören, zu einem nützlichen Zweck. Diese Wirkungen wurden kurz auseinandergesetzt. Masson[2]), Grove[3]) und Sinsteden bedienten sich eines ähnlichen Mittels an den Enden der secundären Spirale, und Grove wies auf die auffälligen Aenderungen hin, welche hierdurch der Charakter der Ströme erfährt, und auf die hieraus sich ergebenden Anwendungen. Beispielsweise ist der Funke an der Luft zwischen zwei Platindrähten, die mit den Enden der secundären Spirale verbunden sind, flammenähnlich, mild und verhältnissmässig ruhig im Vergleich mit dem Funken, welcher entsteht, wenn das eine Ende derselben mit der inneren, das andere

---

[1]) Phil. Mag., 1854, VII, p. 99.
[2]) Prize Essay, Haarlem Trans., 1854, pp. 46, 47.
[3]) Phil. Mag., Jan. 1855, IX, p. 1.

mit der äusseren Belegung einer Leydener Flasche verbunden ist; denn in diesem Falle ist der Funke sehr glänzend, klatschend und anscheinend breit, so dass zwei Funken schwerlich verschiedener sein können als ein und derselbe Funke unter diesen verschiedenen Umständen. Die Unterschiede sind sogar grösser als es den Anschein hat; denn während der stark klatschende Funke Holz oder Papier oder selbst Schiesspulver nicht zu entzünden vermag, wenn nicht besondere Anordnung getroffen wird, entzündet der milde ruhige Funke sie ohne Weiteres. Die Wirkung der so eingeführten statischen Induction besteht weniger darin, die *Menge* der übergehenden Elektricität als vielmehr die *Zeit* des Ueberganges zu ändern. Die Elektricität, welche durch die grosse Länge der secundären Spirale verhältnissmässig langsam strömt, bringt einen Funken von merklicher Dauer (und daher von gleicher Beschaffenheit wie der einer durch einen nassen Faden entladenen Leydener Flasche) hervor und dient bei Anwendung einer Flasche zunächst dazu, eine statische Ladung durch Induction zu erregen, durch deren Entladung ein dichter Funke ohne merkliche Dauer entsteht, der daher heller und hörbarer ist als der erstere. Legt man ein Stück Platindraht horizontal über den Knopf einer Leydener Flasche und bringt die Enden der secundären Spirale dem Platindraht nahe, so ist diese zweimal unterbrochen und die Funken an den Unterbrechungsstellen sind einander ähnlich und führen gleiche Elektricitätsmengen mit sich, da die Leydener Flasche hierbei nur als isolirender Träger dient. Wird aber ausserdem ein Ende der secundären Spirale mit der äusseren Belegung der Flasche verbunden, so nimmt der Funke hier die oben beschriebenen Merkmale an, er wird hell und geräuschvoll, entzündet aber nicht mehr Schiesspulver oder Holz, und Niemand würde von vornherein wähnen, dass, wie es wirklich der Fall ist, dieselbe Elektricität in beiden Funken in die Erscheinung tritt.

Ein anderer interessanter Effect der statischen Induction ist der Doppelfunke. Wird ein Ende der secundären Spirale mit der äusseren Belegung einer Leydener Flasche verbunden und das andere Ende dem Knopfe oder einem mit diesem verbundenen Draht nahe gebracht, so geht an dieser Unterbrechungsstelle ein sanfter Funke über, so oft ein Strom die primäre Spirale umkreist. Dieser Funke ist jedoch ein doppelter, indem die im Moment der Induction in die Flasche gesandte Elektricität sich unmittelbar, nachdem die Induction vorüber ist, wieder an derselben Stelle entladet. Die erste Entladung erwärmt die Luft und macht sie für die zweite Entladung bereit, und beide erfolgen so nahezu gleichzeitig, dass sie dem blossen Auge wie ein einziger Funke erscheinen.

Es wurde alsdann auf die Erwartungen hingewiesen, welche sich an diesen Apparat für die Förderung der Erforschung der elektromagnetischen Kräfte knüpfen, da derselbe ein mächtiges Hülfsmittel hierzu darzubieten

scheint. Den von Grove [1]) erhaltenen, anscheinend durch Polarisation zu erklärenden Resultaten wurde Beachtung geschenkt, sowie den merkwürdigen Querstreifen, die sich bei den Entladungen in sehr verdünnter Luft zeigen.[2]) Endlich wurde bemerkt, dass der Apparat, da er vermöge seines Kernes und seiner Spiralen auf den combinirten Wirkungen der elektrodynamischen und magnetoelektrischen Induction beruht, vielversprechend ist für die Erforschung des Zustandes des Raumes oder des Aethers in der Umgebung von Magneten und bei jeder elektrischen Entladung durch gute oder schlechte Leiter, welcher als magnetischer oder elektrotonischer Zustand bezeichnet wurde, Ausdrücke, die übrigens an sich synonym sind.

---

[1]) Phil. Trans., 1852, p. 93 etc.
[2]) Phil. Mag., 1852, IV, p. 514.

Ueber die Wirkung nichtleitender Körper bei der elektrischen Induction; von Faraday und P. Riess.*)

Der nachfolgende Brief erklärt sich selbst. Ich habe eine sehr freundliche Antwort von Riess erhalten, die ich demselben beizufügen wünsche. Ich habe das Englische der Antwort ein wenig geändert, hauptsächlich in einzelnen kleinen Worten und nur in solchen Fällen, wo ich durch die Aenderung die Meinung des Verfassers klarer zu machen glaubte. Gewisse Ausdrücke von Riess erfordern fast eine Entgegnung. Deshalb und in der Absicht, Zweideutigkeit meiner eigenen Meinung zu beseitigen, habe ich mir erlaubt, einige Fussnoten hinzuzufügen, die man hoffentlich nicht in dem Sinne auffassen wird, als sollten sie eine Discussion um Hypothesen hervorrufen, sondern nur um meine Ansicht (dem Leser) klarzulegen. Es ist nicht die Pflicht oder Aufgabe eines Physikers, Glaubenssätze aufzustellen, und alle Hypothesen sind mehr oder weniger Sache des Glaubens; er hat nur seine Thatsachen und Schlüsse mitzutheilen und so viel Logik, als er für nothwendig erachten mag, um die ersteren mit den letzteren zu verknüpfen, und dann das Ganze dem gegenwärtigen und, wie er zuweilen ohne Anmassung glauben darf, dem zukünftigen Urtheil der wissenschaftlichen Welt anheimzustellen.

London, d. 19. Nov. 1855.

Mein lieber Herr Riess,

Eben erst habe ich Ihren Aufsatz über die Wirkung nichtleitender Körper bei der elektrischen Induction kennen gelernt; ich hatte ihn zwar in Poggendorff's *Annalen* gesehen, konnte ihn aber nicht lesen. Im Juniheft des Philosophical Magazine d. J., vol. IX, p. 401, ist jedoch eine Uebersetzung erschienen, und daraus ersehe ich, dass es mir nicht gelungen ist, Ihnen (und daher wohl auch Anderen) meine wahre Meinung beizubringen, vielmehr das, was Sie für meine Ansicht halten, in manchen sehr wichtigen Punkten absolut das Gegentheil davon ist. Sie werden sich

---

*) Philosophical Magazine, 1856, vol. XI, p. 1. D. Ü.

nicht wundern, dass mir viel daran gelegen ist, mich in solcher Sache zu rechtfertigen gegen einen Mann, der einen so hohen Rang in der Wissenschaft einnimmt wie Sie. Dabei muss ich mich auf die Uebersetzung im Philosophical Magazine beziehen; denn obschon ich nicht beurtheilen kann, ob sie genau ist, so habe ich doch keinen anderen Weg, Ihre Arbeit kennen zu lernen und sie zu besprechen.

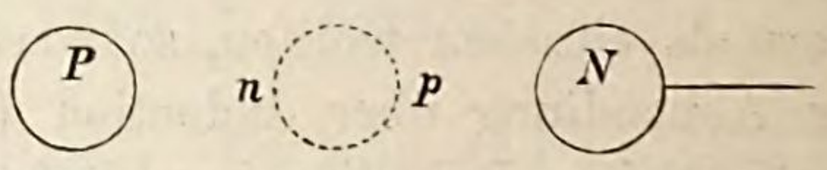
Unten auf S. 402 heisst es in der Abhandlung, Faraday habe die Ansicht durchzuführen gesucht, dass „induction is not produced by the action of electricity across space, but that an electric body acts *only* on the contiguous particles of an insulating medium“ etc. Wenn Sie meine Arbeiten abermals einsehen wollten, so werden Sie finden, dass ich ganz zu Anfang der Abhandlung über Induction (1165) diese Ansicht auf die Fälle der *gewöhnlichen Induction* beschränkt habe, d. h. auf die Fälle, wo Materie zugegen ist; dies wiederhole ich dann (1215) und vol. II, p. 240 der Experim. Untersuch. Ich habe nicht gesagt, dass Induction nicht durch den Raum erfolgen könne, sondern habe speciell von dem Fall eines Vacuums gesprochen (1613—1616), welcher Fall in einem Briefe an Hare weitläufiger behandelt wird, Experim. Untersuch. vol. II, p. 236, 239.

Auf S. 403 des Phil. Mag. heisst es in Ihrer Arbeit: „It follows from other experiments made by Faraday (1218), that the induction would have been diminished had a conducting plate been introduced between the two; for, *according to Faraday's opinion*, the introduction of the conducting plate would have caused the induction to take place in curved lines around the edges of the plate, instead of in right lines through the intervening stratum of air.“ Wenn diese Uebersetzung Ihre Meinung wiedergiebt, so weiss ich nicht, welche Aeusserung von mir Sie verleitet hat, Obiges für meine Meinung zu halten. Ich habe nirgends gesagt oder angedeutet, dass die Zwischenstellung einer solchen Platte die Induction mindere oder bewirke, dass diese bloss in um die Ränder herumliegenden oder mehr als vorher gekrümmten Linien erfolge. Im Gegentheil weiss ich, dass in Folge der Gegenwart einer solchen Platte mehr Kraftlinien nach dem von ihr eingenommenen Raum gehen als zuvor; dass, was diesen Theil des Raumes betrifft, die Induction durch die bessere Function der Leitung ersetzt sein wird, und dass diese die Induction nicht hemmen, sondern vielmehr das Endresultat begünstigen wird, obwohl letzteres, wie Ihre Arbeit trefflich zeigt, durch die Gestalt und Grösse der Platte, durch ihren Abstand von den wirkenden Körpern und durch andere Umstände verwickelt werden würde.

Der Fall, auf welchen Ihre Abhandlung sich oben bezieht (1218), ist einer von denen, durch die ich die *Möglichkeit* der Induction in krummen Linien darzuthun suchte, aber er sollte nicht als Beweis dafür hingestellt werden, dass sie *immer* in krummen Linien erfolgen müsse, was meinen Vorstellungen sehr fern liegt. In jenem Falle ist das erwähnte Metall

(Kugel, Halbkugel, Platte) nicht isolirt, sondern *zur Erde abgeleitet* (1218 bis 1230). Auch bildet der Leiter die Grenze der Induction und ist nicht in den Gang der Induction eingeschaltet; es sind dies Fälle so verschiedener Art, dass viele Schlüsse, die auf den einen anwendbar sind, keine Geltung für den anderen haben. Der letztere Fall ist in den Experimental-Untersuchungen nicht speciell angeführt, weil ich ihn für völlig bekannt hielt, doch ist er in meinem Briefe an Hare, Experim. Unters., vol. II, p. 236, erwähnt.

Vielleicht macht Ihnen folgende Darstellungsweise meine Ansicht über diesen Punkt klarer. Sei P ein isolirter geladener Körper, der auf den zur Erde abgeleiteten metallischen Körper N inducirend wirke; *n p* sei zunächst nicht da. Nun werde *n p*, ein nichtleitender Körper wie Schellack oder Schwefel, aber von derselben specifischen Inductionscapacität wie Luft, dazwischen geschoben. Hierdurch wird keine Aenderung in der Vertheilung der Kräfte eintreten, da die Theilchen von *np* gerade so wie die durch *np* verdrängten Lufttheilchen polarisirt sein werden. Nun denken wir uns *np* mit Leitungsvermögen begabt, wie wenn es in ein Metall verwandelt worden wäre; seine Theilchen werden sich nun gegen einander entladen; die Stellen bei *n* und *p* werden stärker negativ, bezüglich positiv sein als vorher, weil der Inductionsabstand zwischen P und N um den Durchmesser von *np* kürzer und somit die Induction stärker geworden ist, und statt dass die Kraftlinien von P nach N um *np* herumgingen (wie Ihre Abhandlung mich sagen lässt), werden nun, da der Raum *np* ein Leiter ist, *mehr* Kraftlinien denselben treffen und durchsetzen als zuvor, da er ein Isolator war (1326, 1337, 1338). Ich brauche sicherlich über diesen Punkt nichts mehr zu sagen; denn ich bin überzeugt, dass, wenn Sie die Artikel 1218 bis 1230 nachlesen und vielleicht auch p. 251 bis 255 des II. Bandes der Experim. Untersuch., Ihnen sogleich deutlich sein wird, was ich meinte und was meine Ansicht ist; die ihr entsprechenden Resultate sind genau so, wie Sie dieselben im Phil. Mag., p. 406 und 407 beschreiben.



In Ihrer Arbeit (Phil. Mag., p. 410) beschreiben Sie einen Versuch, der mir wohl bekannt ist, und den ich als einen der stärksten Beweise für die Richtigkeit meiner Ansichten betrachte. Eine Schellackplatte befindet sich mit ihrer Vorderseite 12 Zoll von dem positiven Conductor einer Elektrisirmaschine entfernt und mit ihrer Rückseite 1 Zoll von der Flamme einer Spirituslampe und wird vor ihr herumgeführt. Nach Fortnahme derselben finden Sie ihre Vorderseite negativ geladen und daraus schliessen Sie, dass vor der Entladung der Rückseite durch die Flamme die Induction die Vorderseite des Schellacks negativ und die Rückseite positiv gemacht habe, genau so, wie es bei einer Metallplatte geschehen sein würde, und soweit ich Ihre Abhandlung verstehe, durch einen gleichen Leitungsvorgang

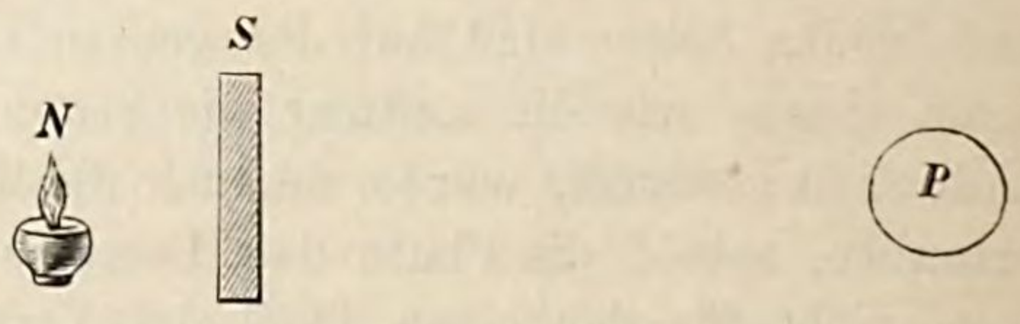
in ihrer Masse. Meine Ansicht von der Induction stimmt nun in Bezug auf die Vorder- und Rückseite der Schellackplatte mit der Ihrigen überein, aber in zwei wichtigen Punkten weicht sie von ihr ab. Sie nimmt an, dass, wenn man sich die Platte als aus unendlich vielen parallelen Platten und jede aus einer einzigen Schicht von Partikelchen bestehend denkt, die Vorderfläche einer jeden negativ und die Hinterfläche positiv sei, und dass der positive Zustand der äusseren Hinterfläche nicht eine Folge der Fortpflanzung der Elektricität durch die zwischen ihr und der negativen Vorderfläche liegenden *leitenden* Theilchen, sondern der Uebertragung der Kraft durch die Polarität der *isolirenden* Theilchen sei. Bei dieser Auffassung ergeben sich aus dem vorliegenden Fall einige Betrachtungen, die sich zu einer Prüfung des relativen Werthes der beiden Ansichten eignen, und bisher bestärken sie mich in der meinigen.

Wäre die Vorderfläche der Schellackplatte durch denselben Vorgang negativ geladen, durch den eine metallische oder leitende Fläche in gleicher Lage sich geladen haben würde, so würde nach Fortnahme der Platte aus dem Bereiche der Induction nicht bloss diese Fläche geladen geblieben sein, vielmehr würde man die Schellackplatte gleich einer leitenden Platte auf beiden Seiten und auf der ganzen Oberfläche geladen gefunden haben; denn ebenso wie die Leitung die Strömung der Elektricität während der Induction gestattet, würde sie auch die Rückkehr derselben zu allen Punkten erlauben, sobald die Platte dem Bereiche der Induction entzogen wäre. Da man nicht für den einen Theil des Versuches Leitung annehmen und für den anderen zurückweisen kann, so finde ich schon diese Erwägung allein verhängnissvoll für Ihre Ansicht, so wie ich sie aus der Uebersetzung verstehe.

Die zweite Erwägung ist folgende. Denkt man sich die Schellackplatte, während sie sich im Bereiche der Induction befindet, meiner Auffassung gemäss, als eine Masse nichtleitender polarisirter Theilchen, so würde die Wirkung der Weingeistflamme darin bestehen, negative Elektricität durch Convection nach der Hinterfläche der Platte zu schaffen und so den temporären inducirten positiven Zwangszustand zu neutralisiren, und *diese* Fläche ist es, die man (nach Fortnahme der Platte aus dem Bereich der Induction und Aufhebung des Zwangszustandes, der nun nicht mehr durch P aufrechterhalten wird) als negativ geladen ansehen muss, und nicht die Vorderfläche, die nunmehr nur durch die noch übrig gebliebene Polarität der Theilchen zwischen ihr und der wirklich geladenen Hinterfläche in einem nur relativ negativen Zustande erhalten wird. Somit können ausser dem von der Leitung hergenommenen Argument noch andere entscheidende Erwägungen geltend gemacht werden. Wenn Ihre Ansicht richtig ist, so ist es nur die Vorderfläche, die negativ geladen ist, und zwar durch eine zur Hälfte wieder entladene Inductionswirkung. Nach meiner Ansicht ist es die Hinterfläche, welcher dieser Zustand durch *Convection* von der Flamme ertheilt worden

ist. Nach Ihrer Ansicht befinden sich die Theilchen im Innern der Platte in ihrem natürlichen Zustande, nach der meinigen sind sie noch polarisirt und werden durch die negative Ladung der Hinterfläche in diesem Zustande erhalten. Glücklicherweise kann die Frage, ob die Vorder- oder Hinterfläche negativ geladen wird, beantwortet werden, wenn auch nicht durch Annäherung der einen und der anderen Seite der Platte an ein Goldblattelektrometer. Denn dieses wird, welche Seite ihm auch genähert werde, negative Elekricität anzeigen, und wenn die geladene Fläche in beiden Fällen gleich weit von der Scheibe des Elektrometers absteht, so wird die Wirkung bei Einschiebung der Schellackplatte zwischen diesen und die geladene Fläche (in Folge der specifischen Inductionscapacität) grösser sein, als wenn nur Luft dazwischen liegt.

Um diese Punkte ein für allemal klarzustellen, will ich die Platten, deren ich mich bedient habe, beschreiben und zum leichtern Verständniss der Aufstellung eine Zeichnung der Versuchseinrichtung geben. Ich hatte eine Schellackplatte von $4^1/_2$ Zoll im Quadrat und 0,9 Zoll Dicke und eine Schwefelplatte von 5,8 Zoll im Quadrat und 0,8 Zoll Dicke. Um die Ränder jeder Platte war ein starker Faden von weisser Seide gebunden und dann eine lange Schleife von derselben Seide an den beiden Ecken einer Seitenkante befestigt; diese Schleife und eine gleiche an den beiden Ecken der gegenüberliegenden Seitenkante dienten als Handhabe, durch welche die Platten isolirt und doch herumgeführt oder in jede Lage gegen das Elektrometer gebracht werden konnten. In der Figur ist S eine dieser Platten von der Seite gesehen, P ist der inducirende oder ursprünglich geladene Körper und N der inducirte Körper (eine Flamme, Spitze, Hand oder Kugel). Zwischen P und N findet die Induction statt, welcher die Platte, soweit es auf die Resultate dieser Versuche ankommt, unterworfen ist, und deren Wirkungen zu untersuchen sind. Die Resultate waren bei beiden, der Schwefel- und der Schellackplatte, genau gleich. Sie blieben auch dieselben, nur von entgegengesetztem Zeichen, wenn P negativ geladen war. Ich will die mit der Schellackplatte erhaltenen Resultate beschreiben und immer die P zugewandte Seite die Vorderfläche, die N zugekehrte die Hinterfläche der Platte nennen.



Als P die Endigung des positiven Conductors einer Elektrisirmaschine, N eine zur Erde abgeleitete metallische Kugel oder Platte bildete, die Schellackplatte in ihre Lage gebracht und, nachdem sie dreissig Secunden oder länger daselbst gelassen war, fortgenommen und an einem Goldblattelektrometer geprüft wurde, erwies sie sich auf jeder Seite und an allen Punkten völlig ungeladen. Die Schellackplatte wurde dann wieder in ihre frühere Lage im Bereiche der Induction zurückgebracht und in N eine

Spiritusflamme in der von Ihnen beschriebenen Weise angewandt. Darauf wurde die Schellackplatte wieder fortgenommen und durch reibungsloses Anlegen an die Scheibe des Elektrometers geprüft. Sie ertheilte den Goldblättchen eine starke negative Ladung, gleichviel welche Seite an der Scheibe anlag, doch waren die Ausschläge am stärksten, wenn die Hinterfläche mit der Scheibe in Berührung war, zum Beweise, dass, soweit dieser gültig ist, die Ladung wirklich von dieser Seite aufgenommen war.

Nach meiner Ansicht über Induction war diese Seite der Platte durch die Flamme negativ geladen worden; denn der Theil der Induction zwischen P und der Flamme konnte durch die von der letzteren bedingte Convection, wo zwischen ihr und P nur Luft war, zerstört werden. Da aber die Luft in Richtung der Induction begrenzt war durch die Hinterfläche der Schellackplatte, so konnte die Flamme ihren Ladungszustand bloss auf diese Fläche übertragen, indem das Isolirungsvermögen und die Starrheit der Schellackplatte weitere Aenderungen in dieser Richtung verhinderte. Daraus folgt das eben erwähnte Resultat. Wie die Flamme im Stande ist, die Hinterfläche zu laden, so vermag sie sie auch zu entladen, und in der That wird die Platte, wenn man die Flamme in einem Abstand von einem Zoll von jener Fläche und parallel zu ihr einen Augenblick hinführt, völlig entladen. Der vorausgehende negative Ladungszustand der Hinterfläche der Platte kann, wenn man will, eine, zwei, ja sogar fünf oder zehn Minuten bestehen bleiben und dennoch wird sie durch momentane Vorbeiführung der Flamme völlig entladen. Das Resultat stimmt vollkommen mit meiner Ansicht überein, steht aber mit der Ihrigen, wie mir scheint, völlig in Widerspruch. Auch vermag ich nicht zu sehen, wie die Annahme einer wenn auch noch so geringen Leitungsfähigkeit des Schellacks, die mit den von seinem Isolationsvermögen bedingten und anerkannten Thatsachen verträglich wäre, das Resultat erklären könne.

Allein man könnte sagen, dass die Flamme bei ihrer zweiten Anwendung nicht die negative Hinterfläche entladen, sondern ihr eine der vermeintlichen negativen Ladung der Vorderfläche gleiche reelle positive Ladung ertheilt habe und somit den Effect der letzteren mehr oder weniger je nach der Dicke der Platte überdecke. Dann entsteht aber die Frage: Ist die Platte völlig entladen, oder hat sie nun eine Doppelladung, d. h. die eine Fläche eine positive, die andere eine negative? Ich finde sie *völlig* entladen; denn wenn ich die eine oder andere Seite an die Scheibe des Goldblattelektrometers anlege und an die freiligende vorsichtig eine zur Erde abgeleitete Metallplatte bringe, so finde ich keine Wirkung auf das Elektrometer, während sich eine solche gezeigt haben würde, wenn die Platte sich wie eine Leydener Flasche geladen hätte.

Oder man könnte meinen, die Flamme habe bei ihrer zweiten Anwendung, obwohl sie nur gegen die Hinterfläche der Schellackplatte gerichtet war, in der einen oder anderen Weise die negative Vorderfläche entladen. Dass dies nicht der Fall ist, lässt sich leicht zeigen, wenn man

die Flamme gegen die Vorderfläche richtet, und dann ergeben sich noch stärkere Beweise als die bisher erlangten gegen Ihre Ansicht und zu Gunsten der meinigen. Denn nach meiner Ansicht muss eine solche Anwendung der Flamme eine positive Ladung der Vorderfläche zur Folge haben, da nun ein zweiter Inductionsvorgang stattfindet, bei dem die negativ geladene Hinterfläche der Schellackplatte der inducirende Körper ist, gegen den die Flamme die Rolle des inducirten Körpers hat wie vorher, welcher vermöge seiner wohlbekannten convectiven Eigenschaften seinen Ladungszustand auf die ihm gegenüberstehende (früher vordere) Fläche der Schellackplatte überträgt. Nach Ihrer Ansicht dagegen muss sie einfach entladen werden. Die Schellackplatte wurde daher vor dem geladenen Körper P aufgestellt und die Flamme vor ihrer Hinterfläche herumgeführt; dann wurde die Platte aus dem Bereiche der Induction entfernt und, nachdem die Flamme vor ihrer Vorderfläche herumgeführt worden war, am Elektrometer untersucht. Lag die Vorderfläche auf der Scheibe des Instrumentes, so zeigte dies eine positive Ladung an, war die Hinterfläche mit derselben in Berührung, so zeigte das Instrument eine negative Ladung, also eine Ladung derselben Art wie vorher, aber eine viel schwächere. Die scheinbare Schwäche der Ladung musste sich zeigen, da nun die negative Ladung der Hinterfläche inducirend durch die Schellackplatte auf die positive Ladung ihrer Vorderfläche wirkt und umgekehrt. Dass dies der Fall sei, wurde dadurch bewiesen, dass, wenn man der oberen Vorderfläche, während die Hinterfläche mit der Scheibe des Elektrometers in Berührung war, die Hand oder eine zur Erde abgeleitete Metallplatte näherte, die eine negative Ladung anzeigende Divergenz der Goldblättchen sehr bedeutend zunahm, da nun die negative Elektricität in grossem Maasse von der Induction der positiven Vorderfläche befreit wurde. Ebenso konnte auch der hohe Ladungszustand der positiven Vorderfläche nachgewiesen werden, indem man diese mit dem Knopf des Elektrometers in Berührung brachte. Somit kann die Flamme, vorsichtig genähert, nur die Seite entladen, welche eine Ladung erhalten hat, und dies nur, wenn sie dieser Seite genähert wird; wird sie der anderen gegenübergestellt, so führt sie ihr die entgegengesetzte Elektricität zu und hinterlässt die Platte doppelt geladen.

Diese Versuche sind durchaus nicht schwierig oder zart, lassen sich vielmehr leicht (unter einigen einfachen Vorsichtsmassregeln) in der überzeugendsten und mannigfachsten Art anstellen und geben stets dasselbe Resultat. Den inducirenden Körper P wählt man am besten mit grosser Oberfläche. Ein geriebener Glasstab oder noch besser eine geriebene Guttaperchaplatte (eine Schuhsohle) erfüllt den Zweck sehr gut. Man kann damit dem Schellack oder Schwefel S bis auf einen Zoll nahekommen, ohne ihnen eine Ladung mitzutheilen, wenn nicht entladende Leiter in der Nähe sind. Bei N kann man an Stelle der Flamme eine feine Metallspitze anwenden oder Leiter und Contact auch in folgender Weise gebrauchen. P

und die Schellack- oder Schwefelplatte S befanden sich an ihrem Orte, und nachdem die Flamme einen Augenblick bei N gewirkt hatte, wurde die Platte S fortgenommen und mit ihrer negativ geladenen Hinterfläche in Contact mit der vorher auf den Knopf des Elektrometers gelegten Scheibe von Goldblatt gebracht; augenblicklich zeigte das Instrument eine starke Divergenz (oft mehr, als es, obschon es sehr gross war, ertragen konnte); wenn überdies ein zur Erde abgeleiteter Draht dem Goldblatt oder dem Knopfe genähert wurde, so entlud sich die geladene Hinterfläche in einem Funken, und Elektrometer und Schellack blieben vollkommen ungeladen zurück. Es ist nur ein sehr kleiner weiterer Schritt, die Hinterfläche vorher mit Stanniol zu belegen, und dann lassen sich alle Versuche wiederholen, indem man statt der Flamme einen Contact mit einem zur Erde abgeleiteten Körper gebraucht. Ein weiterer Schritt war, die Vorderfläche zu belegen; die Induction innerhalb des Schellacks zwischen diesen Flächen und senkrecht zu ihnen ist ganz von derselben Art wie ohne diese Belegungen. Richtet man es so ein, dass der inducirte Körper S der entfernteren hinteren Belegung keine Ladung mittheilen kann, ist er also beispielsweise eine zur Erde abgeleitete metallische Kugel oder Platte, dann ist jede dieser Belegungen während der Zeit im polaren Zustande gleich dem durch *np* in der ersten Figur dieses Briefes dargestellten, d. h. unter dem inducirenden Einfluss eines positiv geladenen Körpers P, und so lange die Induction währt, haben ihre Vorderflächen negative und ihre Hinterflächen positive Ladung.

Sie bezweifeln, glaube ich, das Dasein einer specifischen Inductionscapacität. Sie erhalten die von mir dieser zugeschriebenen Effecte, aber Sie scheinen sie durch irgend einen Leitungsvorgang im Schellack, ähnlich dem in zwischengestellten Metallplatten zu erklären, in Wahrheit durch denselben Vorgang, durch welchen Ihrer Meinung nach der angenommene negative Zustand auf der *Vorder*fläche der Schellackplatte sich herstellt. Nun, wenn irgend eine der Inductionswirkungen von einer derartigen Leitung herrührte, so müsste diese letztere Eigenschaft bei sehr zahlreichen und mannigfachen Versuchen hervortreten, insbesondere wenn man auch die *Zeit* zur Geltung kommen lässt. Ich stellte die Schwefelplatte vor P, brachte die Flamme vor die Hinterfläche, entfernte die Platte und stellte die Flamme vor die Vorderfläche und lud so die Schwefelplatte in weniger als vier Secunden, wie eben beschrieben, auf der einen Seite negativ, auf der anderen positiv zu beträchtlicher Höhe. Diese so rasch angenommene Ladung behielt der Schwefel anscheinend mehrere Minuten unvermindert und zeigte sich noch nach Verlauf mehrerer Stunden stark geladen. Wie sollte nun eine Leitung im Innern der Substanz des Schwefels (von der Art der Leitung in Metallen) das Auftreten der beiden Elektricitäten in einigen Augenblicken, und sogar in doppelt so grossen Mengen, als wenn Luft dagewesen wäre, veranlasst haben, Leitung, die doch nicht im Stande war, ihre Wiedervereinigung

in einer vielhundertmal längeren Zeit zu bewirken? Wir haben Grund anzunehmen, dass Induction beinahe instantan erfolgt. Denn nehmen wir eine in der Mitte auf beiden Seiten belegte Schwefelplatte und stellen ihr gegenüber in P eine grosse metallische Kugel oder Platte auf, so sind drei aufeinander folgende Berührungen, eine um P zu laden, eine zweite momentane Berührung der Belegung der hinteren Schwefelfläche und eine dritte, um P zu entladen, hinreichend, um den vollen Inductionszustand in der Schwefelmasse herzustellen und die resultirende Ladung zu sichern. Mittelst eines Schlüssels können diese Contacte in dem fünfzigsten Theil einer Secunde bewerkstelligt werden und durch einige mechanische Vorrichtungen sogar noch viel schneller; dennoch ladet sich, soviel ich sehe, die belegte Schwefelfläche in dieser kurzen Zeit ebenso vollständig, als wenn die Induction eine Minute oder eine Stunde gedauert hätte. Wie können wir uns demnach denken, dass Leitung von irgend welchem Grade im Schwefel, die mit der langdauernden Isolation, die darauf folgen kann, in Einklang zu bringen wäre, bei diesem kurzdauernden und doch vollständigen Vorgang mitgewirkt haben könnte?

Die vorstehenden Resultate scheinen mir von entscheidendem Charakter zu sein und keine Frage offen zu lassen über die Möglichkeit, dass die Rolle dazwischen gestellter isolirender Substanzen bei der Induction von derselben Art sei, wie die in gleicher Lage befindlicher leitender Substanzen. Ich würde näher eingehen in die Darlegung und Erläuterung meiner Ansichten und zeigen, dass das Dasein der specifischen Inductionscapacität sicher gestellt ist, wenn ich es für nöthig hielte; allein ich würde nicht viel mehr thun können, als das bereits (vor vielen Jahren) in der Elften Reihe der Experimental-Untersuchungen Gesagte zu wiederholen, und somit stehe ich davon ab.

Der Effect, welchen Sie unten auf S. 404 und oben S. 405 des Phil. Mag. erwähnen, ist in meinen Augen eine sehr natürliche Folge der hohen specifischen Inductionscapacität des Schellacks. An einer Stelle sagen Sie in Bezug auf dieselbe, dass „no reason can be assigned why a *small piece* of shellac“ etc.*); allein ich kann nicht zugeben, das für ein kleines Stück anzunehmen, was in Wirklichkeit ein kleiner, nicht abgetrennter Theil eines grossen Stückes ist, so wenig, wie ich sagen kann, dass dasjenige ein kleines Stück Metall sei, was nur ein kleiner Theil einer grossen Platte ist. Eine grössere Inductionscapacität stört die Kraftlinien und Kraftvertheilung in einer Weise, die einem gewissen Betrage von Leitungsvermögen gleichwerthig ist, dennoch können diese beiden Wirkungen durch Versuche und

---

*) Die Stelle lautet in der Originalabhandlung von Riess (Pogg. Ann. 1854, XCII, 342), es sei „durchaus kein Grund vorhanden, weshalb ein kleines Stück Schellack eine Wirkung schwächen sollte, die ein grösseres Stück verstärkt.“ D. Ü.

Ueberlegungen, wie ich sie eben zur Untersuchung des Zustandes der Schellackplatte angewandt habe, vollkommen von einander unterschieden werden.

Sie sehen, verehrter Herr, dass mir daran liegt, gerechtfertigt vor Ihnen zu stehen; ich würde jedoch hier nicht so weit gegangen sein, wenn ich nicht geglaubt hätte, dass Sie meine Ansichten erheblich missverstanden haben. Sie werden auch bemerken, dass ich keinen Grund sehe, irgend eine meiner Ansichten über statische Induction, wie ich sie in der XI. Reihe niedergelegt habe, zu ändern. Ich muss bekennen, dass, da Ihre Arbeit in Poggendorff's Annalen und dem Philosophical Magazine erschienen ist, es mir nicht lieb wäre, die Sache vor der wissenschaftlichen Welt so stehen zu lassen, wie sie eben steht, da man daraus meine Zustimmung zu den daselbst gemachten Angaben folgern könnte, und ich würde daher diesen Brief, wenn ich annehmen dürfte, dass es Ihnen nicht unangenehm wäre, in das Magazine geben, falls Sie nicht etwa einen anderen Weg zur Veröffentlichung vorziehen sollten. Indessen sende ich Ihnen denselben zu, und da bereits mehrere Monate seit Ihrer Veröffentlichung im Phil. Mag. verflossen sind, so werden Sie mir hoffentlich bald Nachricht geben, ob Sie etwas dagegen einzuwenden haben oder nicht.

Ich bin Ihr sehr ergebener

M. Faraday.

Berlin, 10. December 1855.

Indem ich auf den Brief antworte, mit dem Sie mich beehrt haben, muss ich zuvörderst Ihre grösste Nachsicht für mein Englisch in Anspruch nehmen. Ich meine nicht die Fehler, die leicht zu verbessern sind, sondern die unpassende Wahl der Worte, die in theoretischen Controversen von Wichtigkeit wird, und die ich zu vermeiden nicht hoffen darf.

Ehe ich an die Erörterung Ihrer Bemerkungen gehe in Betreff meines Aufsatzes über die Influenz, mag es nicht unangemessen sein, ein Wort zu sagen über die alte Theorie der statischen Elektricität. Es scheint mir, dass eine Theorie eines Zweiges der experimentellen Wissenschaften für gut erachtet und nicht verlassen werden sollte, so lange sie im Stande ist, alle bekannten Thatsachen aus einem einfachen Principe abzuleiten, sei dies paradox oder nicht, und so lange sie nicht mit sich selbst oder der Theorie eines verwandten Zweiges in Widerspruch kommt. Die alte Theorie des Lichtes ist verlassen worden, nicht weil ihr Princip von der Aussendung von Myriaden von Lichttheilchen, versehen mit der grössten Geschwindigkeit und manchen verwunderlichen Eigenschaften, höchlich paradox war, sondern weil sie unzureichend erfunden wurde, über die grosse Klasse von Erscheinungen der Diffraction und Polarisation Rechenschaft zu geben. Ich sehe nicht das Gleiche in der alten Theorie der Elektricität. In der That nimmt sie eine Wirkung in die Ferne an, und ich stimme Ihnen durchaus

bei, dass eine solche Wirkung äusserst schwer zu begreifen ist; aber geben wir nicht dieselbe zu in der grossen Theorie der Gravitation, und nehmen Sie nicht dieselbe Wirkung an in einem ungewöhnlichen Falle von elektrischer Influenz?[1]) Die Wirkung in die Ferne besteht hier in der Anziehung von Elektricität der einen Art und Abstossung der andern in jedem Massentheilchen, und ist unbeschränkt, das will sagen, wenn eine elektrische Partikel E auf ein Massentheilchen A wirkt, und wir ein Massentheilchen B irgendwohin setzen, so wird dadurch die Wirkung von E auf A nicht gehindert oder geschwächt, sondern besteht in demselben Betrage wie zuvor. Giebt man diese Voraussetzungen zu, so erklärt die Theorie die Erscheinungen der statischen Elektricität auf die einfachste Weise. Alle diese Erscheinungen sind Beispiele der elektrischen Anordnung auf der Oberfläche von Körpern, und die Anordnung wird abhängig gedacht von dem Gleichgewichte einer Zahl von Kräften, welche die elektrischen Partikel gegenseitig auf einander ausüben. So werden die elektrostatischen Probleme verwandelt in Probleme der reinen Mechanik, und die Principien dieser Wissenschaft finden ihre Anwendung. Der Vortheil dieser Methode ist sehr gross; sie stellt den Erfolg jedes Versuches dar als die Summe einzelner Wirkungen, welche das Vorstellungsvermögen ohne Schwierigkeit auffasst, und überlässt der Mathematik die Mühe, die einzelnen Wirkungen zu summiren und den Betrag der Summe anzugeben. Wenn diese Summirung oft zu verwickelt ist, um vollständig ausgeführt zu werden, so halte ich das nicht für einen Fehler der Theorie, zumal da es in vielen Fällen nicht schwer ist, mit Hülfe allgemeiner Betrachtungen das Endresultat vorauszusehen. Deshalb habe ich vor langer Zeit diese Theorie vertheidigt gegen ihre — allerdings nicht sehr gefährlichen — Gegner, und ich konnte nicht umhin, die Vertheidigung fortzusetzen, als ein Gegner in dem Manne erstand, den ich als den grössten Naturforscher unseres Zeitalters verehre.

Auf Ihre erste Bemerkung erwidere ich, dass ich, einen Fall von Influenz in Luft behandelnd, Ihre Meinung über diese Influenz angeführt und absichtlich vermieden habe, Ihre Meinung über einen Fall zu erwähnen, der nicht vorkam. Denn hätte ich sie erwähnt, so wäre ich gezwungen gewesen hinzuzufügen, dass Sie nur eine *beschränkte* Wirkung in die Ferne zugeben[2]), und auseinander zu setzen, dass diese Annahme für den vor-

---

[1]) Es ist daran zu erinnern, dass im Englischen „Induction“ sowohl für die Erregung momentaner elektrischer Ströme, als für die Erregung dauernder elektrischer Zustände gebraucht wird, im Deutschen hingegen von mir das Wort nur für die erste Klasse von Erscheinungen beibehalten, die zweite mit „Influenz“ oder Vertheilung bezeichnet worden ist. In dem vorstehenden wie in diesem Schreiben ist ausschliesslich von Influenz die Rede. — R.

[2]) Meine Ansicht setzt keine Grenze für die Wirkung, die nicht mit der des Lichtes parallel ginge. Wo Materie ist, nimmt sie an der Wirkung theil; wo sie nicht ist, geht die Wirkung, meiner Meinung nach, ohne sie vor sich. — M. F.

liegenden Fall ganz dieselben Folgerungen zulässt, als wenn Sie jene Wirkung gänzlich leugneten.

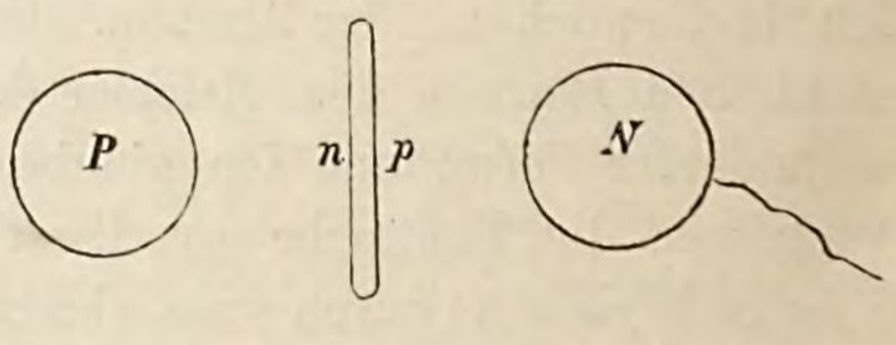
In Bezug auf den in der zweiten Bemerkung gemachten Vorwurf, dass ich Ihre Meinung über die Wirkung leitender Zwischenplatten bei der Influenz falsch dargestellt habe, muss ich um so mehr bedacht sein, mich ausser Schuld zu setzen (*disculpate*), als diese Rechtfertigung, wenn ich nicht irre, die eigentliche Wurzel aller Verschiedenheiten berührt, die zwischen Ihrer und der alten Theorie bestehen. Ich habe gesagt, es folge aus Ihren Versuchen, dass die Einführung einer leitenden Platte zwischen einen influencirenden und einen influencirten Körper die Wirkung des ersten auf den zweiten vermindern würde, weil diese Wirkung, Ihrer Meinung zufolge, jetzt in gekrümmten Linien statt in geraden durch die Luft gehen würde. In diesen Versuchen, die ich angezogen habe, wurde ein geriebener Schellackcylinder und, in Berührung mit ihm, eine abgeleitete Metallscheibe angewendet, und es wird ein *thatsächlicher Beweis* gegeben (*Exper. Resear.* 1221), „dass die Influenz des Schellacks nicht durch oder quer durch das Metall wirkt.“ Dieser thatsächliche Beweis besteht in der Beobachtung, dass eine Prüfungskugel durch Influenz keine oder nur eine geringe Ladung erhält, wenn sie an den Mittelpunkt der oberen Fläche der Scheibe angelegt wird, wo die Kugel dem influencirenden Körper am nächsten steht, und eine gerade Linie zwischen beiden nur durch das Metall gezogen werden kann; und ferner in der Beobachtung, dass die Prüfungskugel in der Luft in einiger Höhe über dem Mittelpunkte eine starke Ladung erhält. Hieraus schliessen Sie: „dass die Influenz[1]) nicht durch das Metall hindurch geschieht, sondern durch die umgebende Luft in krummen Linien.“ Ich hielt mich zu der Annahme berechtigt, dass Sie aus dem gleichen thatsächlichen Beweise den gleichen Schluss ziehen würden in Versuchen von veränderter Form, und ich glaubte dies um so mehr, als ich keinen andern Weg sah, die Thatsache aus Ihrer Theorie abzuleiten. Wenn der geriebene Schellackcylinder durch eine elektrisirte Metallkugel ersetzt, und eine hinlänglich breite Metallplatte in einiger Entfernung über der Kugel befestigt wird, so erhält die Prüfungskugel nur eine schwache Ladung von dem Mittelpunkte der oberen (von der elektrischen Kugel abgewandten) Fläche der Platte, und eine zunehmende Ladung, wenn sie darüber erhoben wird. Ist die Platte isolirt, so darf die Prüfungskugel nicht an die Platte angelegt werden, aber man bemerkt die Zunahme der Ladung der Kugel mit ihrer Erhebung über den Mittelpunkt, und die stärkste Ladung in einer bestimmten Höhe. Hieraus schloss ich, dass Sie die Wirkung einer metallischen Zwischenplatte zwischen einem influencirenden und einem influencirten Körper ansehen würden als eine *Schirmung* des zweiten vor der

---

[1]) An der abgewandten Seite, indem das Metall stets abgeleitet ist. — M. F.

Influenz in geraden Linien des ersten[1]), und ich wurde in meiner Annahme bestärkt durch § 1681[2]), wo Sie sagen: „dass die elektrische Kraft beschränkt und ausschliessend ist.“

Sie werden sicher diese Annahme nicht für eine willkürliche erklären, wenn Sie finden, dass die Anhänger Ihrer Ansichten über die Influenz ganz dieselbe gemacht haben. Melloni glaubte seine Elektroskope vor der Influenz eines Conductors zu schirmen, indem er eine Metallplatte zwischen beide setzte, und De la Rive erzählt in demselben Sinne die Versuche mit Ihrem Differential-Inductometer in seinem *Traité d'électricité*, vol. I, p. 131 (es giebt davon eine englische Ausgabe, die ich nicht gesehen habe). Er sagt: *Si on interpose une lame métallique soit isolée, soit, mieux encore, communiquant avec le sol, entre A* (die positiv elektrische influencirende Platte) *et B* (die influencirte, vorher berührte Platte) *aussitôt B donne des signes d'électricité negative très forte, qui proviennent de ce que l'induction* **cessant d'agir sur elle** *etc. Ainsi, mettre un disque métallique entre A et B, cela revient à remplacer B par un autre disque plus rapproché de A qu'il ne l'était, et par conséquent à le* **soustraire à l'induction de** *A.* Von der metallischen Zwischenplatte, sie sei isolirt oder nicht, wird hier gesagt, dass sie einen Körper der Influenz entzogen habe, sie wird als ein Schirm betrachtet, der die elektrische Influenz auffängt, wie ein opaker Körper das Licht auffängt. Ich bin sehr erfreut, dass Sie diese Meinung nicht theilen, aber ich muss gestehen, dass ich nicht einsehe, wie auf die in Ihrem Briefe dargelegte Weise die Resultate abzuleiten sind, die ich mit leitenden Zwischenplatten erhalten habe. Es mag P die ursprünglich elektrisirte Kugel vorstellen, N die abgeleitete influencirte Kugel, *np* die (in der Verkürzung gesehene) isolirte Metallscheibe, die so gestellt ist, dass die Centrallinie der Kugeln normal durch den Mittelpunkt der Scheibe geht. Ihrer Ansicht zufolge sind die Flächen *n* und *p* stärker negativ und positiv, als da die Scheibe aus atmosphärischer Luft bestand (d. i. die Metallscheibe fehlte), und die auf N ausgeübte Influenz sollte kräftiger sein als vorher. Dies ist aber in der That nicht



---

[1]) Wenn sie abgeleitet ist, ja, wenn sie isolirt ist, nicht; dies ergiebt schliesslich die Gesammtheit aller (inductiven und leitenden) Wirkungen des inducirten Körpers. — M. F.

[2]) „(1681.) Ein auffälliges Merkmal des elektrischen Agens ist seine Begrenzung und Exclusivität, sowie dass die beiden Kräfte immer in genau gleichem Betrage vorhanden sind. Die Kräfte stehen auf zweierlei Weise in Beziehung zu einander, entweder wie in dem natürlichen, normalen Zustande eines ungeladenen isolirten Leiters, oder wie in dem geladenen Zustande, welch' letzterer ein Fall von Induction ist.“ — M. F.

immer der Fall; die Influenz auf N erscheint gestärkt oder geschwächt, je nachdem die metallische Zwischenplatte schmal oder breit, dick oder dünn ist. Ich bin nicht im Stande, durch Ihr Räsonnement zu finden, welcher Unterschied eintreten muss, wenn die Scheibe *np* bei gleichem Durchmesser eine Dicke von 0,25 oder von 0,04 eines Zolles besitzt. Es scheint mir, dass in beiden Fällen der elektrische Zustand der Flächen *n* und *p* grösser sein sollte, als bei der Luftscheibe. Dennoch erscheint mit der dicken Metallscheibe die Influenz auf N grösser, mit der dünnen kleiner als in dem Falle, wo keine Scheibe gegenwärtig ist (p. 408 meines Aufsatzes).[1]) Wenn die dicke Scheibe angewendet wird und daher die Influenz auf N verstärkt erscheint, und wir berühren die Scheibe einen Augenblick und isoliren sie wieder, so ist die Influenz auf N vermindert. Wollen wir sagen, dass der gesteigerte Zustand von *p* durch die momentane Berührung aufgehoben worden, so sollte man erwarten, dass der Zustand vollständig wieder hergestellt werde bei der folgenden Isolirung der Scheibe.[2]) Sei dem, wie ihm sei, ich habe nicht bemerkt, dass Ihre Theorie die Unabhängigkeit der Wirkungen zugiebt, welche ein influencirender und ein influencirter Körper auf einen dritten Körper ausüben, und dies ist, wie ich glaube, der wesentliche Punkt, in welchem die beiden Theorien gänzlich von einander abweichen.[3]) Die alte Theorie giebt in denkbar einfachster Weise Rechenschaft von allen hierher gehörigen Fällen. Sie nimmt an, dass die drei elektrischen Schichten: auf der Oberfläche der Kugel P, auf

---

[1]) Die Induction übt P nach meiner Ansicht nicht ausschliesslich auf N aus, sondern auf alle Körper der Umgebung, selbst auf die Wände des Zimmers. Ändert man die Grösse der isolirten Metallscheibe *np*, so ändert sich hiermit auch die Vertheilung der Induction. Eine kleine Platte vermindert wegen ihrer Dicke an leitender Substanz den elektrischen Widerstand zwischen P und N, und die Induction auf letztere wird grösser. Eine grössere Platte von derselben oder noch grösserer Dicke kann die Induction aut N durch eine Neuvertheilung der Kräfte vermindern, und es kann nun eine stärkere Induction auf die umgebenden Körper stattfinden, weil ihr Umfang sich weiter gegen diese erstreckt. — M. F.

[2]) Ich erwarte keine Wiederherstellung des früheren Zustandes der Scheibe und glaube zu wissen, dass sie *nicht* erfolgt. Eine momentane ableitende Berührung bringt augenblicklich einen neuen Inductionszustand und einen neuen Zustand der Scheibe hervor, der ein Endzustand ist und nach Aufhebung der ableitenden Berührung bestehen bleibt. Die einzige Störung dieses Zustandes ist die, welche von der Gegenwart des ableitenden Drahtes herrührt, da sich die Induction auch auf ihn selbst erstreckt, und ferner die, welche herrührt von der durch die Feuchtigkeit und den Staub der Luft und der unvollkommenen Isolation veranlassten allmählichen Entladung. — M. F.

[3]) Meiner Ansicht nach handelt es sich um die Frage, ob der Vorgang in der Schellackplatte *pn* von der inneren Leitung zwischen den Theilchen abhängig ist oder nicht. Ist er von der inneren Leitung unabhängig, wovon hängt er, ausser der Polarisation der Theilchen, welche ich als Ursache annehme, sonst noch ab? Oder wie können Leitung und Isolation, als zufällige Ursachen betrachtet, als Resultat dieselbe Kraftvertheilung ergeben? — M. F.

der Fläche n und der Fläche p unabhängig von einander influencirend auf die Kugel N wirken. Bezeichnen wir mit f (P) die Wirkung der Influenz der Kugel P auf die Kugel N, mit $-f(n)$ die der Fläche n (das Zeichen — deutet an, dass der Effect dem von P erzeugten entgegengesetzt ist), und mit $f(p)$ die Wirkung der Influenz der Fläche p, so behauptet die Theorie, dass in allen Fällen die Gesammtwirkung auf N abhängt von dem Betrage der Summe $f(\mathrm{P}) - f(n) + f(p)$ und überlässt der Berechnung zu sagen, ob diese Summe grösser oder kleiner als $f(\mathrm{P})$ ist. In dem einzigen Falle, wenn $f(p)$ verschwindet, das heisst, wenn die metallische Zwischenplatte berührt worden oder nicht isolirt ist, kann ohne Berechnung gesagt werden, dass die Summe der influencirenden Wirkungen von Kugel und Platte kleiner ist als die Wirkung der Kugel allein.

Nachdem ich durch den Versuch gezeigt hatte, dass mit leitenden Zwischenplatten die Influenz sowohl verstärkt als geschwächt, und mit nichtleitenden sowohl geschwächt als verstärkt werden kann, wagte ich die Meinung, dass die Wirkung von Platten irgend welcher Beschaffenheit auf einem und demselben Grunde beruhe, nämlich auf der Anordnung der Elektricitäten auf den Oberflächen der Platten. Ich untersuchte obenhin (wenn nöthig, könnte es sehr genau geschehen) die Anordnung der Elektricitäten auf einer Metallscheibe und schloss, dass die Elektricitäten in ähnlicher (nicht derselben) Weise auf der Oberfläche einer nicht-leitenden Scheibe angeordnet sind. Ich gebe zu, dass dieser Schluss nicht einwurfsfrei ist, aber ich behaupte, dass er nothwendigerweise zuerst gemacht werden musste, und dass er nicht verworfen werden darf, wenn er nicht als falsch aufgezeigt worden ist.

Die einfache Thatsache, dass ein nicht-leitender Körper von einem elektrisirten angezogen wird, zeigt deutlich, dass ein nicht-leitender Stoff, ebenso gut wie ein leitender, durch die Influenz augenblicklich mit beiden Elektricitäten versehen wird. Als einen mehr directen Beweis der Influenz auf Isolatoren, ohne wesentliche Verbindung mit dem Gegenstande meiner Abhandlung, habe ich einen Versuch beschrieben, der sich mir darbot und den ich nirgends gefunden hatte. Auf diesen zusätzlichen Versuch bezieht sich Ihre dritte Bemerkung, zu der ich jetzt komme. Eine Schellackscheibe wird schnell von oben nach unten bewegt zwischen einer Flamme und der Kugel des Conductors einer Elektrisirmaschine (nicht *to and fro*; ich habe diesen Uebersetzungsfehler dem Prof. Tyndall am 19. Juni brieflich angezeigt). Man findet die Vorderfläche der Scheibe stark negativ elektrisch. Sie stimmen mit mir überein, dass ohne die Flamme beide Flächen der Scheibe augenblicklich mit negativer und positiver Elektricität versehen worden sind, aber Sie weichen von mir ab hinsichtlich der Erklärung des Versuches, in Betreff, wie Sie sagen, der Art und Weise, in welcher die Scheibe elektrisirt worden ist, und in Betreff der Rolle, welche die Flamme bei dem Endresultate gespielt hat. Was den ersten Punkt angeht, so muss

ein Missverständniss eingetreten sein, da ich nirgends meine Ansicht über die Weise geäussert habe, in welcher leitende und nicht-leitende Körper durch die Influenz erregt werden. Ich fürchte, dass die Ursache des Missverständnisses im Worte *„distribution“* liegt, womit das deutsche Wort „Anordnung“ übersetzt worden ist, das die Bedeutung von *„arrangement“* hat. Wenn gesagt ist (p. 412): *there is no essential difference between the action of conducting and nonconducting bodies, but inasmuch as the distribution of electricity upon them etc.* und ferner: *in conducting bodies the distribution of electricity etc.* — so ist meine Meinung diese: Man giebt zu, dass jede Zwischenplatte, sie bestehe aus leitendem oder nicht-leitendem Stoffe, durch die Influenz augenblicklich mit beiden Elektricitäten versehen wird, die sich in gewisser Weise auf beiden Platten anordnen. Bei einer leitenden Platte vermag ich in jedem Falle durch Untersuchung die Anordnung der Elektricitäten anzugeben, und danach die Wirkung dieser Platte auf einen ihr nahe stehenden Körper zu erklären, der von einem elektrisirten Körper influencirt wird. Bei einer nicht-leitenden Platte kann ich zwar die Anordnung der Elektricitäten nicht untersuchen, aber mit einer angenommenen Anordnung kann ich gleichfalls die Wirkung dieser Platte erklären, und muss deshalb leugnen, dass zwischen der Wirkung leitender und nicht-leitender Platten bei der Influenz ein wesentlicher Unterschied vorhanden sei.[1]) Dass die Art und Weise, in welcher die Influenz auf einer leitenden und einer nicht-leitenden Platte zu Stande kommt, in jeder Hinsicht dieselbe sei, habe ich weder gesagt, noch gemeint.

Was den Erfolg des Versuches mit der Flamme betrifft, den ich in meinem Aufsatze angegeben habe, so ist er weder unsicher, noch zwei-

---

[1]) Gesetzt, zwischen P und N befinde sich anstatt Luft ein flüssiges isolirendes Medium, und die zwischengestellte starre Platte $n\,p$ habe dasselbe Isolationsvermögen und dieselbe Inductionscapacität wie das Medium, beispielsweise Schellack in Camphin oder fester Schwefel in geschmolzenem, sollen wir erwarten, dass die beiden Elektricitäten nur an der Oberfläche der starren Platte auftreten und nicht, wie ich annehme, in jedem möglichen Querschnitt des flüssigen oder starren Körpers in Ebenen, die, parallel den Oberflächen der Platte oder vielmehr senkrecht zu den Inductionslinien, wie man annehmen kann, zwischen den Theilchen hindurchgehen und ihre Trennung von einander bezeichnen? Hiesse erstere Annahme nicht, den starren Isolatoren ein Vermögen zuschreiben, das man den flüssigen abspricht, und wäre dies nicht gleichbedeutend mit der Annahme, dass der starre Körper durch Induction einen polaren Zustand annehmen könne, den man jedoch bezüglich seiner Theilchen leugnete? Da man die Erscheinungen der specifischen Inductionscapacität nunmehr zugiebt, so ist es sehr wünschenswerth, dass „die alte Theorie“ angebe, wie sie dieselben in unzweifelhaften Fällen, beispielsweise beim Schwefel oder Schellack, erklärt, und auch darthue, wie es geschehen kann, dass auf den beiden Oberflächen einer nicht-leitenden Platte die beiden ungleichartigen Elektricitäten ohne Leitung verbleiben oder ohne das, was ich Polarisation genannt habe, auftreten und dort verweilen. — M. F.

deutig. Die Schellackscheibe wurde einmal von oben nach unten bewegt zwischen dem positiv elektrischen Conductor der Maschine und einer Spiritusflamme; ihre Vorderfläche wurde mit gleitender Berührung [1]) an den Knopf eines Goldblattelektroskops angelegt; die Scheibe wurde entfernt und die Elektricität des Instruments untersucht. Ueberall wurde negative Elektricität gefunden, stärkere oder schwächere; die stärkste, wenn der Mittelpunkt der Scheibe den Knopf berührt hatte und sorgfältig darauf gehaucht worden war, wovon der Grund einleuchtend ist. [2]) Ich habe der Flamme die wesentliche Rolle zugetheilt, die positive Elektricität der Hinterfläche zu zerstören, Sie haben die Thatsache beobachtet, dass die Hinterfläche negativ elektrisch ist, und hieraus einige Folgerungen über die Influenzirung der Platte gezogen, die ich nicht zugeben kann. Die Thatsache, dass die Hinterfläche negativ elektrisch ist, scheint mir eine sehr verwickelte zu sein, und von einer der beiden folgenden Ursachen herzurühren, vielleicht von beiden. Erstens: Die Flamme wird durch den ursprünglich elektrisirten Körper durch Influenz elektrisirt und theilt ihre negative Elektricität der Hinterfläche mit. Zweitens: Die negativ elektrische Vorderfläche wirkt durch Influenz auf die Hinterfläche. In Bezug auf die erste Annahme habe ich aus Versuchen über die elektrischen Eigenschaften brennender Körper

---

[1]) Ich führte die eine Bewegung zwischen dem inducirenden Körper und der Flamme aus und erhielt genau dieselben Resultate wie die in meinem Briefe beschriebenen. Es ist ganz leicht, durch blosse Annäherung an das Elektrometer, ohne die Kugel oder Scheibe desselben zu berühren, zu ermitteln, welche Fläche der Platte np geladen ist, und ob positiv oder negativ. Ich halte es für durchaus nothwendig, einen schleifenden Contact zwischen der Schellackplatte und der Metallkugel des Elektrometers zu vermeiden, denn ich finde, dass, wenn auch Platte und Instrument ursprünglich vollkommen frei von Ladung ist, durch einen derartigen Contact Elektricität erregt wird, der Schellack positiv und das Metall negativ wird, so dass bei Fortnahme des Schellacks das Elektrometer augenblicklich mit negativer Elektricität divergirt. Ich finde es unmöglich, die Ladung eines durch Reibung mit Metall so weit positiv geladenen Stückes trockenen Schellacks, dass es bei grosser Nähe die Goldblättchen eines Elektrometers einen Zoll oder mehr zur Divergenz bringt, auf das trockene Instrument durch Reibung an dem Metallknopf zu übertragen; hierbei wird nur der Schellack stärker positiv und hinterlässt das Instrument im negativen Zustande. Ich bezweifle daher, ob sich negative Elektricität von schwach geladenem, trockenem, isolirendem Schellack auf trockenes Metall durch reibenden Contact einfach übertragen lässt, obschon ich in jedem Falle erwarte, dass Elektricität erregt werde und auftrete und das Elektrometer negativ und der Schellack positiv werde. — M. F.

[2]) Ich hielt es (mit Unrecht, wie die [vorstehende] Anmerkung lehrt) für überflüssig, zu bemerken, dass bei den hier beobachteten Divergenzen des Elektroskops die geringe Divergenz nicht in Betracht kommen konnte, welche durch die Reibung des Schellacks gegen den Knopf hervorgebracht wurde. Ueberdies fand bei den Versuchen, welehe, wie oben bemerkt ist, die stärkste Elektricität lieferten, eine solche Reibung gar nicht statt. Nur der Mittelpunkt der Schellackscheibe kam mit dem Knopfe des Elektroskops in Berührung und wurde (am bequemsten durch ein Glasrohr) leicht angehaucht. R.

(Pogg. Ann., Bd. 61, S. 545) geschlossen, dass eine durch Influenz elektrisirte Flamme auf einen ihr nahestehenden Körper mit derjenigen Elektricität wirkt, die der des influencirenden Körpers ungleichnamig ist. Zur zweiten Annahme habe ich einen, wie er mir erscheint, entscheidenden Versuch angestellt und beschrieben im ersten Bande § 300 meines Buches über Elektricität. Eine Schellackscheibe wurde an einem Handgriffe frei in der Luft gehalten und auf einer Fläche (es sei die obere) mit Pelzwerk gerieben. Obgleich nicht zu zweifeln ist, dass die obere Fläche negativ elektrisch war, so wurde auch die untere Fläche negativ gefunden. Hatte dagegen die Schellackscheibe während des Reibens auf einer gut abgeleiteten Metallscheibe gelegen, und war danach die negative Elektricität der oberen Fläche zerstört worden durch Anwendung einer Flamme (oder Berührung mit einer Metallplatte, wie sich sogleich zeigen wird), so wurde die untere Fläche positiv elektrisch gefunden. Nach Zerstörung dieser positiven Elektricität war die obere Fläche wieder negativ, und so fortfahrend, konnte abwechselnd die eine Fläche positiv, die andere negativ gemacht werden. Dieser Versuch gab mir ein leichtes Mittel an, einen Elektrophor mit positiv-elektrischem Kuchen zu erhalten. Dazu wurde der Kuchen in seine gut abgeleitete Metallform gelegt, stark mit Pelzwerk gerieben und in der Form umgekehrt, so dass die nicht geriebene Fläche oben lag. Wurde dieser Kuchen mit seinem Schilde (einer Metallscheibe) bedeckt, so hatte ich einen Elektrophor, der negative Elektricität lieferte, statt dass der gewöhnliche Elektrophor positive Elektricität liefert.

In Betreff Ihrer vierten und letzten Bemerkung gebe ich durchaus zu, dass es nicht correct ist, einen kleinen Theil eines grossen Schellackstückes einem kleinen Schellackstücke gleich zu setzen, was ich p. 405 meines Aufsatzes gethan habe. Aber ich glaube, die Ungenauigkeit unschädlich gemacht zu haben, indem ich dabei auf das Ende meines Aufsatzes hinwies, wo ich erklärt habe, weshalb eine nicht-leitende Platte bei theilweiser Einführung zwischen einen influencirenden und einen influencirten Körper die Influenz scheinbar schwächt, und sie bei vollständiger Zwischensetzung verstärkt. Ich halte noch immer diese entgegengesetzte Wirkung einer und derselben Platte zusammen mit der Thatsache, dass die Stellung der Platte zur Seite des influencirenden Körpers die Influenz verstärkt (p. 411 am Ende), für äusserst schwer durch Ihre Theorie der Influenz zu erklären.

Ich habe wenig Hoffnung, Sie zu überreden, Ihre Ansichten über die Wirkung der Isolatoren bei der Influenz zu ändern, und ich gestehe, wenn ich es vermöchte, ich würde es kaum wünschen. Der grosse Physiker arbeitet am besten mit Hülfe seiner eigenen Vorstellungen, seiner selbstverfertigten Werkzeuge, deren Unvollkommenheiten er durch geschickte Anwendung zu vermeiden weiss. Aber diese Werkzeuge, so wirksam in seiner Hand, werden in fremder nicht nur nutzlos, sondern sehr gefährlich, und

Sie wissen, welches Unheil zum Beispiel die Vorstellung der elektrischen Schirmung vor Kurzem angerichtet hat in der Hand des seitdem verstorbenen italienischen Physikers. Aus diesem Grunde werden Sie mich nicht tadeln, wenn ich der Veröffentlichung Ihrer Bemerkungen die meiner Entgegnung folgen lassen werde. Gegen Form und Ort, die Sie für diese Veröffentlichung wählen, kann ich keinerlei Einwendung machen, und ich weiss, dass unmittelbar nach dem Erscheinen Ihres Briefes Prof. Poggendorff eine Uebersetzung desselben in seinen Annalen geben wird.

P. Riess.

Ueber gewisse magnetische Vorgänge und Wirkungen.*)

Alle Körper erfahren eine Einwirkung, wenn sie in einem gewöhnlichen magnetischen Felde zwischen den Polen eines Magnets der magnetischen Induction ausgesetzt werden; paramagnetische Körper haben das Bestreben, von Orten schwächerer zu Orten stärkerer, diamagnetische umgekehrt von Orten stärkerer zu Orten schwächerer Kraft zu gehen. Haben die Körper eine längliche Gestalt, so stellen sich die paramagnetischen längs den Kraftlinien, die diamagnetischen quer zu ihnen ein; haben sie aber eine sphärische Gestalt, sind sie amorph und vollkommen frei von permanentem Magnetismus, so zeigen sie kein Bestreben, sich in einer bestimmten Richtung einzustellen. Indess giebt es in beiden Klassen *krystallinische* Körper, die, wenn einem einzelnen derartigen Krystall die Kugelgestalt gegeben wird, eine Richtkraft haben. Dieselben heissen Magnekrystalle; ihre Zahl vermehrt sich fortwährend; Calciumcarbonat, Wismuth, Turmalin u. a. gehören hierher. Die Richtkraft magnetischer Körper von länglicher Gestalt wird von der Natur des sie umgebenden Mediums stark beeinflusst, und zwar in solchem Maasse, dass dieselbe nicht bloss von einem Maximum bis zu Null variirt, sondern oft auch aus einer axialen in dem einen Medium in eine äquatoriale in einem anderen übergeht. Andererseits bleibt die Richtkraft derselben Körper im magnetischen Felde, wenn sie magnekrystallisch sind und die Kugelgestalt haben, bei allen Abänderungen des sie umgebenden Mediums sich *gleich* und von letzterem völlig unbeeinflusst. Wird beispielsweise ein Wismuthkrystall in Gestalt einer Kugel oder eines verticalen Cylinders mit seiner magnekrystallischen Axe horizontal aufgehängt und dabei von so verschiedenen Medien, wie gesättigte Eisenvitriollösung, Phosphor, Luft, Wasser, Alkohol, Oel, nach einander umgeben, so ist, vorausgesetzt dass die Magnetkraft constant bleibt, trotzdem sich also unter jenen Medien ebenso stark magnetische wie diamagnetische befinden, keine Aenderung der Torsionskraft zur Verschiebung des Magnekrystalls erforderlich. In solchen Fällen ist die Messung der Richtkraft frei von einer Menge störender Umstände, die in anderen Fällen auftreten, und so lässt sich zeigen, dass diese von der inneren Structur und Be-

---

*) Proceedings of the Royal Instit. of Great Britain 1854—1858, vol. II, p. 196.
D. Ü.

schaffenheit der Substanz abhängige Kraft bei derselben Temperatur stets dieselbe bleibt.

Eine Folge der magnekrystallischen Structur ist, dass derselbe Körper in der einen Richtung stärker paramagnetisch oder stärker diamagnetisch ist als in einer anderen, und daraus folgt weiter, dass, wenn auch die Richtkraft eines solchen Krystalls durch das ihn umgebende Medium nicht geändert wird, dennoch die absolute Anziehungs- oder Abstossungskraft eine Aenderung erfahren kann, so zwar, dass er in der einen Lage angezogen und in einer anderen abgestossen wird, obschon weder die Gestalt noch das umgebende Medium noch die Stärke des Magnets noch die Natur des Körpers selbst geändert wird, sondern lediglich die *Structurrichtung*. Dies wurde an einem Krystall von rothem Blutlaugensalz nachgewiesen, der, sorgfältig mit Wachs überzogen, an dem Balken einer Torsionswaage aufgehängt war und in eine das magnetische Feld einnehmende Lösung von Eisenvitriol[1]) tauchte. War die Magnekrystallaxe den Kraftlinien parallel, so wurde der Krystall von dem Magnetpol angezogen, dagegen abgestossen, wenn die Magnekrystallaxe rechtwinklig zu den Kraftlinien lag; der Krystall verhielt sich also das eine Mal wie ein Paramagneticum, das andere Mal wie ein Diamagneticum. Bisher hat man noch keinen Magnekrystall gefunden, der gegen das Vacuum oder gegen Kohlensäure (dessen magnetisches Aequivalent) ein derartiges Verhalten zeigte; nahezu entspricht einem derartigen Medium der Kalkspath; die Grösse seiner Kraft zeigt sich in den beiden Richtungen verschieden, aber er bleibt immer auf der diamagnetischen Seite. Kalkspath, der eine Spur Eisen enthält, zeigt nahezu das entsprechende Verhalten auf der paramagnetischen Seite; und da diese Körper ihre magnekrystallische Beziehung in den beiden Richtungen völlig bewahren, so hat man keinen Grund anzunehmen, dass sich nicht ein Krystall würde finden lassen, der nicht in Bezug auf den Raum als Nullpunkt paramagnetisch in der einen und diamagnetisch in der anderen Richtung wäre.

Man hat allen Grund anzunehmen, dass die allgemeinen magnetischen Beziehungen eines Magnekrystalls dieselben sind wie die derselben Substanz im amorphen Zustande, und dass dieselben Umstände in beiden Fällen denselben Einfluss ausüben. Dies zugestanden, lassen sich die magnetischen Einwirkungen, die ein Körper erfährt, durch Untersuchung der magnekrystallischen Einwirkungen ermitteln. So konnte der Einfluss der Wärme auf Wismuth, Turmalin u. s. w. vermittelst der Einstellung der Krystalle untersucht werden, und zwar mit um so grösserem Vortheil, als man kurze, kugelförmige Stücke benutzen konnte, die von den umgebenden zu Bädern benutzten Medien magnetisch vollkommen unbeeinflusst waren, und ohne dass diese Media bei der Bewegung des Krystalls verschoben zu

---

[1]) Sie bestand aus 2,5 Volumen einer bei 65° F. gesättigten Lösung und 1 Vol. Wasser.

werden brauchten. Demnach wurden Krystalle von Wismuth, Turmalin, Eisencarbonat und anderen Substanzen in Oel-, Wasser- und anderen Bädern aufgehängt, die Temperatur allmählich erhöht und die der Richtkraft entsprechende Torsionskraft für jede Temperatur beobachtet. Beim Wismuth, dessen Kraft bei 20^0 F. 200 betrug, wurde diese bei 300^0 auf 70 reducirt, und die Verminderung scheint für eine gleiche Anzahl von Graden der Thermometerscala nahezu gleich zu sein. Ein amorphes Stück Wismuth, das in einer Richtung comprimirt ward, zeigte für dieselbe Temperaturänderung nahezu die gleiche Kraftänderung, und das führt zu der Ueberzeugung, dass die gesammte magnetische Kraft des Wismuths, als eines Diamagneticums, die gleiche Aenderung erfahren würde. Ein Turmalinkrystall, dessen Richtkraft bei 0^0 540 betrug, hatte bei Erhöhung der Temperatur auf 300^0 nur eine Richtkraft von 270. Die Schwächung der Kraft war eine progressive, und zwar bei niedrigen Temperaturen grösser als bei hohen; denn eine Temperaturänderung von 0^0 auf 30^0 hat eine Schwächung der Kraft um 50 zur Folge, während dieselbe bei einer Aenderung von 270^0 auf 300^0 nur 20 betrug. Eisencarbonat erlitt eine ähnliche Aenderung; bei 0^0 betrug die Kraft 1140, bei 300^0 nur 415; bei niedriger Temperatur betrug die Schwächung der Kraft 120 für 30 Grade, bei einer höheren Temperatur nur 34.

In allen diesen und vielen anderen Fällen verminderten sich die magnekrystallischen Unterschiede sowohl bei paramagnetischen als auch bei diamagnetischen Körpern mit der Erhöhung der Temperatur, und daher darf man es als wahrscheinlich ansehen, dass die eigentliche magnetische Kraft sich in demselben Sinne ändert. Allein die auf Eisen, Nickel und Cobalt ausgedehnte Untersuchung, wobei diese Metalle in Gestalt sehr kleiner Prismen angewandt wurden, an die, um sie zu beschweren, Kupferwürfel angehängt waren, ergab ein anderes Resultat. Die Kraft des Eisens änderte sich zwischen 30^0 und 300^0 gar nicht, sondern blieb auf 300, welche Zahl einen Ausdruck für den Werth der Kraft des untersuchten Stückes unter den vorliegenden Umständen bildet. Bei höheren Temperaturen verliert das Eisen, wie wir wissen, Magnetismus, und bei heller Rothgluth lässt es sich fast gar nicht magnetisiren. Ein Stück Nickel, dessen Richtkraft bei 95^0 300 betrug, hatte bei Temperaturerhöhung auf 285^0 eine Richtkraft von nur 200, so dass es den dritten Theil seiner Kraft verloren hatte; bei der Siedetemperatur des Oels verliert es bekanntlich seinen Magnetismus fast vollständig und ist dann nicht mehr im Stande, auf eine Magnetnadel zu wirken. Cobalt dagegen verliert seinen Magnetismus erst bei weit höherer Temperatur als Eisen, bei einer Temperatur, die dem Schmelzpunkt des Kupfers nahe liegt. Bei niedrigeren Temperaturen fand sich, dass eine Temperaturerhöhung von 70^0 auf 300^0 eine absolute *Zunahme* der magnetischen Kraft von 293 auf 333 bewirkte. Es giebt demnach offenbar eine Temperatur oder eine Temperaturgrenze über 300^0, bei welcher die magnetische Kraft des Cobalts

ein Maximum ist, und eine Steigerung über diese Temperatur hinaus, sowie eine Abkühlung unter dieselbe wird eine Schwächung des Magnetismus zur Folge haben. Mit dem *Eisen* verhält es sich wahrscheinlich ebenso, und zwar liegt das Maximum seiner Magnetisirbarkeit zwischen 0^0 und 300^0. Wenn Nickel ebenfalls ein solches Maximum hat, so muss es unter 0^0 liegen, und es darf bemerkt werden, dass, wie die genannten Metalle, nach dem Eintreten des Maximums mit steigender Temperatur geordnet, die Reihenfolge Nickel, Eisen, Cobalt bilden, sie auch nach den Temperaturen geordnet, bei welchen sie ihre charakteristische und ausgezeichnete magnetische Stellung unter den Metallen verlieren, dieselbe Reihenfolge bilden.

Ueber die Dauererscheinung des Blitzes.*)

Sonnabend, d. 20. Juni 1857.

Das Gewitter, das letzte Nacht über London hinzog, gab mir abermals Gelegenheit zu einer Beobachtung, die ich bereits früher vier- bis fünfmal gemacht hatte. Da ich für meine Person über die Ursache der beobachteten Erscheinung nur eine Muthmassung habe, so veröffentliche ich diese Notiz, um die Aufmerksamkeit auf erstere zu lenken, damit man sie zunächst verificire, um alsdann am Ende eine genaue Erklärung zu finden. Das Gewitter lag zwischen 12 und 1 Uhr über London. Zahlreich waren die Blitze innerhalb der Wolken. An einer gerade über mir liegenden Stelle des Himmels, nach welcher ich hinblickte, trat der Blitz in unregelmässigen Linien auf, die an einer Stelle ein grosses ⊢ bildeten, das sich über einen Raum von 60^0 oder mehr erstreckte; neben diesem zeigten sich noch andere Blitzlinien, welche nicht mit diesem zusammenhingen, aber in demselben Augenblick auftraten. Diese Linien verschwanden nicht augenblicklich, sondern erblichen, und es dauerte, glaube ich, eine Secunde oder länger, ehe sie erloschen. Während ihres Dahinschwindens änderte sich zwar nicht die Gestalt, aber wohl der Charakter der Linien; denn an Stelle einer an allen Punkten gleichmässigen Helligkeit, nahmen sie ein körniges Aussehen an, d. h. nahe bei einander liegende Theile zeigten verschiedene Helligkeitsgrade, so dass sie als punktirte Lichtlinien erschienen. Die Dauer dieser Linien war nicht bloss eine Folge des Lichteindrucks auf das Auge; denn durch frühere Beobachtungen belehrt, konnte ich diese Linien von einer derartigen Wirkung dadurch unterscheiden, dass ich die Augenaxe von dem direct betrachteten Punkte fort auf einen anderen Punkt des Lichtbildes richtete, dann wieder auf einen anderen und zurück auf den ersten Punkt, nämlich den Winkel des ⊢, ehe die Linien völlig vergangen waren. Ihre Gestalt bewegte sich nicht mit der Bewegung der Augen, sondern lag fest am Himmelsgrunde und blieb daselbst während des kurzen Bestehens unverändert an ihrem Orte. Wie bereits bemerkt

---

*) Phil. Mag. 4, 1857, vol. XIII, p. 506. D. Ü.

habe ich diese Erscheinung bei verschiedenen Gelegenheiten vier- bis fünfmal wahrgenommen.

Was ist die Ursache dieser Erscheinung? Die Vermuthung, welche die grösste Wahrscheinlichkeit für sich hat, scheint die zu sein, dass sie auf einer hoch gesteigerten phosphorescirenden Beschaffenheit der Lufttheilchen beruht, längs welchen oder durch welche die elektrische Entladung erfolgt, und vielleicht findet ein Experimentator Mittel, die Erscheinung in gewissem Grade hervorzubringen. Ich glaube, dass man ähnliche Lichtspuren auf Zucker und einigen anderen Körpern beobachtet hat, wenn man über dieselben die elektrische Entladung hat vor sich gehen lassen.

Bemerkungen über statische Induction.*)

Die Absicht des Vortragenden war, den Mitgliedern der Royal Institution eine einfache Darstellung der Entstehung und Natur der elektrostatischen Erscheinungen zu geben, insbesondere in Bezug auf Induction, auf die sich allerdings sie alle zurückführen lassen. Werden zwei Körper, wie Flanell, Schellack, Metall, Schwefel, mit einander gerieben, so werden sie in bekannter Weise elektrisch, und es lässt sich eine Reihe aufstellen derart, dass ein Körper negativ wird gegen die über ihm, oder positiv gegen die unter ihm in der Reihe stehenden Körper. So wird ein Metall negativ gegen Schellack und positiv gegen Schwefel, und da jeder dieser Körper zur Erforschung der Fundamentalprincipien der Induction dienen kann, so ist jene Differenz für manche Methoden, ihren temporären oder permanenten Zustand mittelst des Elektrometers zu untersuchen, von Wichtigkeit. Wenn ein Schellackstab und eine auf dessen einem Ende sitzende Flanellkappe nicht gerieben worden sind, so zeigen sie, einzeln oder gemeinsam am Goldblattelektrometer geprüft, auch keine Spur von Elektricität an. Auch wenn man die Kappe auf dem Schellackstab mit Reibung mit der Hand herumdreht, indem man sie an ihrem Platze lässt, weist das System kein Anzeichen von Elektricität auf. Trennt man sie aber, so zeigen sich beide Körper stark und einander entgegengesetzt elektrisch. Legt man den einen auf den Knopf des Elektrometers (die Goldblättchen desselben waren 7 Zoll lang und 1,5 Zoll breit, die Isolirung vollkommen), so zeigt dieses den hohen elektrischen Zustand an; nähert man nun den anderen allmählich und stellt ihn endlich neben ersterem auf, so verschwindet jedes Anzeichen von Elektricität, um wiederzuerscheinen, sobald man sie abermals von einander entfernt. Dieser Versuch stellt einen typischen Fall von Elektrisirung und Induction dar. Durch die Reibung werden die entgegengesetzten Elektricitäten erregt; sie bestehen alsdann und halten ihren Zustand gegenseitig durch Induction aufrecht; sie sind einander vollkommen äquivalent und erhalten sich gegenseitig durch diese feste und relative Aequivalenz, denn die eine Elektricität kann nicht ohne die andere existiren. Sie weisen,

---

*) Proceedings of the Royal Instit. of Great Britain 1854—1858, vol. II, p. 470.
D. Ü.

so lange ihre Kräfte lediglich zu sich selbst in Beziehung stehen, kein Anzeichen von Elektricität nach aussen auf, wenn aber die beiden Körper, in denen die Zustände ihren Sitz haben, von einander getrennt werden, so gilt diese Beziehung nicht mehr ausschliesslich, sondern in dem Maasse, als die Induction zwischen den beiden Körpern vermindert ist, wird sie nach anderen Richtungen hingelenkt, wie gegen das Elektrometer oder die Wände des Zimmers. Bringt man den einen in ein anderes Zimmer oder stellt ihn in ein Gefäss aus leitender Substanz, so werden die elektrisirten Körper unabhängig von einander; jeder von ihnen hat eine genau gleiche Menge des entgegengesetzen Agens durch eine in die Ferne reichende Wirkung gemäss den Gesetzen der gewöhnlichen Induction erregt. Die von einem elektrisirten Körper ausgehende und in der Ferne sich äussernde Kraft kann man sich unter dem Bilde von Kraftlinien vorstellen. Diese Linien oder die durch sie repräsentirte Kraft bleiben erhalten, so lange sie sich in einem isolirenden Medium befinden oder dasselbe durchsetzen. Sie setzen sich so lange fort, bis sie auf leitende Substanz treffen, auf der sie einen dem ihres Ursprungsortes entgegengesetzten Zustand von äquivalentem Grade erregen, und so findet ihre Isolation eine Grenze, oder sie setzen, wenn ein solcher Körper nicht vorhanden ist, ihren Lauf fort. Wäre es möglich, den elektrisirten Schellack in den Mittelpunkt eines nahezu unendlich ausgedehnten isolirenden Mediums zu stellen, so würden auch die von ihm ausgehenden Kraftlinien sich in die Unendlichkeit ausbreiten. Die Intensität der Gesammtheit der Kraftlinien würde sich in jedem durch sie geführten Querschnitt als gleich erweisen, selbst wenn man den Querschnitt dicht am Schellack mit einem im unendlichen Abstande von demselben vergleichen würde. Gäbe es an den Grenzen des eben angenommenen isolirenden Raumes keine leitende Substanz, so könnte der Schellack nicht für sich im elektrisirten Zustande existiren; seine Kraftlinien würden dann sämmtlich gegen den Körper gerichtet sein, durch welchen er elektrisirt worden ist, indem beide durch gegenseitige Wirkung die Induction zwischen sich aufrecht erhalten würden, ohne welche Elektricität weder erregt werden noch bestehen könnte. Dies sind einige Folgerungen, die sich nothwendig aus den Gesetzen der statischen Induction im Verein mit dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft ergeben.

Wenn aber diese Functien der Induction gerade für das Auftreten und das Dasein der Elektricität im wirksamen Zustande so wesentlich ist, was ist denn ihre Natur? Sie wirkt in die Ferne durch dazwischenliegende Körper hindurch: wie werden der Raum und die Körper afficirt? Bei allen Wirkungen in die Ferne ist es sehr wichtig, wenn möglich festzustellen, was in dem dazwischenliegenden Medium oder Raum vor sich geht, gleichviel ob die Untersuchung dahin führt, in einem bestimmten Falle einen specifischen Vorgang zu constatiren, oder dahin gelangt, einen Vorgang allgemeinerer Art zu erkennen, der alle Fälle von Fernwirkung repräsentirt.

Induction erfolgt durch jeden isolirenden Körper, er sei fest, flüssig oder gasförmig. Bei den meisten Inductionsvorgängen hat man es mit atmosphärischer Luft zu thun; da sie aber beweglich ist, so können ihre Theilchen nicht an einer gegebenen Stelle oder Lage oder in einem gegebenen Zustande erhalten werden, um eine genaue Untersuchung zu gestatten. Schwefel und Schellack dagegen eignen sich zu einer solchen Untersuchung vortrefflich, zumal da ihre *specifische Inductionscapacität* etwa doppelt so gross ist als die der Luft; und da sie starre Körper sind, so können ihre Oberflächen- oder Grenztheilchen in einen gegebenen Zustand versetzt werden und dabei ihren Ort beibehalten, so dass die Art dieses Zustandes untersucht werden kann. Stellt man eine runde Metallplatte von 9 Zoll Durchmesser vertical isolirt an der Luft auf und eine ähnliche Platte aus guter Guttapercha auf einer isolirenden Säule der ersteren parallel und in einem Abstande von 9 Zoll von derselben, so erfolgt bei Elektrisirung der Guttaperchaplatte eine starke Induction. Die Guttapercha bildet die inducirende, die Kupferplatte die inducirte Fläche, beide begrenzen das Inductionsfeld, das zugleich ein vorzügliches Versuchsfeld bildet. Die Guttapercha muss mit einem dichten Tuch gerieben werden, an dem keine lockeren Theilchen sitzen, auch muss Staub und was sonst Anlass zu Convectionswirkungen giebt, vermieden werden. Als inductives Medium kann man Schwefelplatten von etwa 3 bis 4 Quadratzoll und 1 Zoll Dicke benutzen und sie können an Fäden oder Schleifen von weisser Seide, die man an den Ecken eingeschmolzen hat, aufgehängt oder ganz bequem gehandhabt werden. Scheiben von steifem, auf beiden Seiten vergoldetem Papier können durch Schellackstäbchen, an deren Ende sie befestigt sind, gut isolirt und als Metallscheiben an sich oder als Prüfungsscheiben benutzt werden.

Es ist fast unmöglich, einen Schwefelblock aus seiner Papierhülle oder von dem Tisch zu nehmen, ohne ihn elektrisch zu finden; führt man jedoch eine kleine Spiritusflamme in etwa einem Zoll Abstand an ersterem hin und her, so wird er vollkommen entladen. Legt man ihn alsdann auf den Knopf des Elektrometers, so wird er wahrscheinlich keine Divergenz der Goldblättchen bewirken, aber der Beweis, dass er gar nicht elektrisirt ist, ist erst dann mit aller Sicherheit erbracht, wenn man ihn mittelst zur Erde abgeleiteten Stanniols oder eines anderen Metalles, das man lose darauf legt, prüft. Findet nämlich irgend welche Induction durch den Schwefel in Folge einer schwachen entgegengesetzten Elektrisirung der beiden Seiten statt, so wird sich dies hierdurch kundgeben; eine abermalige Behandlung mit der Flamme wird dann die Ladung völlig beseitigen. Wird eine Schwefelplatte nur an einer Seite elektrisirt, so lässt sich am Elektrometer nicht unmittelbar erkennen, welches die elektrisirte Seite ist. Man wird eine gleichartige Ladung finden, welche Seite man auch auf den Knopf des Elektrometers legt; ist jedoch die elektrisirte Fläche die untere, so wird die Divergenz der Blättchen stark sein, und wenn man dann das abgeleitete

Stanniol auf die obere Fläche legt, so wird die Divergenz ein wenig geringer werden und auf ihre frühere Grösse zurückkehren, sobald das Stanniol fortgenommen wird; ist jedoch die elektrisirte Seite die obere, so wird die anfängliche Divergenz der Blättchen geringer sein und noch eine beträchtliche Verminderung erfahren, wenn man das Stanniol auf erstere legt. Die Annäherung der Flamme an die elektrisirte Seite wird sie völlig entladen. Auch wenn man die Flamme der unelektrisirten Seite nähert, wird scheinbar eine theilweise Entladung stattfinden, und der Ausschlag am Elektrometer wird beträchtlich verringert erscheinen, was aber in Wirklichkeit nur eine Folge davon ist, dass die Flamme die andere Fläche mit *entgegengesetzter* Elektricität geladen hat. Wenn also die ursprünglich elektrisirte Fläche auf den Knopf des Elektrometers gelegt wird, so erhält man eine geringere Divergenz und nur wenn man dann die zur Erde abgeleitete Zinnfolie auf die obere Fläche legt, erfolgt die Divergenz bis zu der Grösse, welche der Ladung der unteren Fläche entspricht.

Ist man also von diesen Dingen, die zur Sicherung der vorzunehmenden Manipulationen nothwendig sind, unterrichtet und geht nunmehr dazu über, das Verhalten einer Schwefelplatte in dem eben beschriebenen Inductionsfelde zu untersuchen, so erhält man folgende Resultate. Stellt man eine ungeladene Schwefelplatte in das Inductionsfeld der Guttapercha- und Kupferplatte parallel, so wird man sie, selbst wenn sie mehrere Minuten an ihrem Orte gelassen worden war, vorausgesetzt dass Alles trocken und frei von Staub und anderen Partikeln ist, am Elektrometer mit oder ohne Anwendung von Stanniol geprüft, völlig ungeladen finden. Auch die eben beschriebene vergoldete Prüfungsscheibe in derselben Lage zeigt sich, wenn man sie fortnimmt, völlig frei von Ladung. Befindet sich die Schwefelplatte an ihrem Orte und berührt man sie mit der Prüfungsscheibe an der einen oder anderen Seite, entfernt diese ein wenig und nimmt sie dann ganz fort, so zeigt sie sich völlig unelektrisch. Diese Körper, die unter dem Einfluss der Induction in einen eigenthümlichen oder polarisirten Zustand versetzt worden sein mögen, müssen denselben also, dem Bereiche der Induction entzogen, völlig verloren haben und wieder in ihren natürlichen Zustand zurückgekehrt sein. Wir wollen jedoch annehmen, dass zwar die Schwefelplatte in Richtung der Inductionslinien elektrisch polarisirt worden und dass also, während sie sich in dem Felde befindet, die eine Seite positiv und die andere negativ sei, dass aber die blosse Berührung weniger Punkte mit der vergoldeten Prüfungsscheibe völlig unzureichend sei, einen merklichen Theil dieser Ladung oder dieses Zustandes fortzunehmen; denn wenn ein Metall die Ladung von der Oberfläche einer isolirenden Substanz fortzunehmen im Stande ist, so geschieht es nur dadurch, dass dasselbe in *leitende Berührung* mit den Oberflächentheilchen kommen kann und eben durch diese Berührung. Daher wurden die beiden Seiten einer Schwefelplatte mit Blattgold überzogen, das durch eine dünne Firnissschicht be-

festigt wurde, und diese Platte, nachdem der Firniss völlig trocken und hart geworden war, untersucht. Liess man sie nun eine Weile in dem Inductionsfeld und nahm sie dann heraus, so zeigte sie sich auf beiden Seiten unelektrisch. Wurde sie abermals in das Inductionsfeld eingeführt und die Prüfungsscheibe zwischen sie und die Guttapercha- oder die Kupferplatte gestellt, ohne diese oder die Schwefelplatte zu berühren, so zeigte auch die Prüfungsscheibe, aus dem Felde entfernt, keine Spur von Elektricität. Brachte man die Prüfungsscheibe zwischen die inducirende, also die Guttaperchaplatte und die vergoldete Schwefelplatte und berührte damit die ersterer zugewandte Seite, entfernte sie dann ein wenig und nahm sie ganz fort, so zeigte sie am Elektrometer eine positive Ladung an; berührte sie die andere Seite der Schwefelplatte, so hatte sie eine negative Ladung angenommen. Dies beweist also, dass der Schwefel an der der negativen Guttaperchaplatte zugewandten Seite durch Induction positiv geworden war und negativ an der Seite, die der durch Induction positiv gewordenen Fläche der das Inductionsfeld begrenzenden Kupferplatte zugewandt war. Der dielektrische Schwefel befindet sich also unter Einfluss der Induction in einem polarelektrischen Zwangszustande, aus dem er, sobald die Inductionswirkung durch Entfernung des Schwefels oder der Guttapercha aufhört, *augenblicklich* in einen indifferenten oder natürlichen Zustand übergeht. Dass diese Rückkehr von einer elektrischen Spannung *innerhalb* der Masse herrührt, die sich während der Dauer der Induction erhält, geht daraus klar hervor, dass, wenn die Prüfungsscheibe zwei- bis dreimal abwechselnd an die eine und die andere Fläche angelegt wird und somit die Elektricität, die diese unter Einfluss der Induction besitzen, theilweise entladet, der Schwefel, aus dem Inductionsfelde entfernt, nicht bloss in den neutralen oder indifferenten Zustand zurückkehrt, sondern die Flächen entgegengesetzte Zustände annehmen, als sie früher hatten, — eine nothwendige Folge der Rückkehr der Theilchen im Innern der Masse in ihren ursprünglichen Zustand.

Dasselbe Resultat, obschon nicht in so vollkommenem Maasse, erhält man auch ohne Anwendung von Belegungen. Die unbelegte Schwefelplatte befinde sich an ihrem Orte, zwischen ihr und der Kupferplatte die kleine Spirituslampe, dann bringe man die elektrisirte Guttaperchaplatte zur Stelle, entferne die Spiritusflamme und hierauf die Guttaperchaplatte, so wird man die der Flamme zugewandte Fläche der Schwefelplatte und *nur diese* geladen finden, und zwar positiv, gerade so wie die Seite des mit Blattgold belegten Schwefels, welche einigemal mit der Prüfungsscheibe berührt worden war. Während der Induction war die Masse des Schwefels polarisirt worden, die eine Seite war positiv, die andere negativ geworden, die Flamme hatte letztere entladen, und als dann der Schwefel dem Bereiche der Induction entzogen ward, hatte die Rückkehr der Polarität in den normalen Zustand auch die Rückkehr der ersteren Seite in den ihr eigenen und ungeänderten Zustand zur Folge, zugleich jedoch bewirkt, dass auch die andere Seite, deren temporäre

negative Elektrisirung, während sie der Induction ausgesetzt war, entladen worden war, nunmehr den positiven Zustand annahm. Es würde zwecklos sein, die Flamme an der anderen Seite der Schwefelplatte anzubringen, da dies den Erfolg hätte, die Guttaperchaplatte zu entladen und so die Induction überhaupt zu zerstören.

Wurden mehrere Platten in dem Inductionsfelde in einigem Abstande von einander aufgestellt und gleichzeitig derselben Induction ausgesetzt, so fand sich, dass jede denselben Zustand hatte wie die eben beschriebene Einzelplatte. Bekanntlich erhält man dasselbe Resultat, wenn man mehrere Metallplatten in gleicher Weise dem Versuch unterwirft. In diesen und ähnlichen Versuchen erblickt der Vortragende, wie er bei dieser Gelegenheit bemerkte, eine Bestätigung der von ihm vor 20 Jahren aufgestellten Ansicht über Induction[1]), wonach die Isolatoren aus Aggregaten von an sich leitenden Partikeln bestehen, die jedoch nicht von einem Theilchen zu einem anderen leiten, und Induction aufgefasst wird als Polarisation aller jener Theilchen, die bei der elektrischen Beziehung zwischen inducirenden und inducirten Flächen in Betracht kommen. Der Vortragende hob hervor, dass er bisher noch keine Thatsache gefunden habe, die mit dieser Auffassung im Widerspruch stände. Derselbe wies ferner auf die specifische Inductionscapacität hin, die nunmehr eine so ausgezeichnete Bestätigung durch die Untersuchungen über die Vorgänge in unterseeischen Telegraphenkabeln erhalten haben, die ihrerseits jene Ansichten bestätigen, und endlich auf die Analogie des Verhaltens des Turmalins bei Erwärmung und Abkühlung mit einem Stabe aus isolirender Substanz bei Annahme und Aufgabe des Inductionszustandes.

---

[1]) Phil. Trans. 1837. [Experimental-Untersuchungen, XI. Reihe.]

Ueber Wheatstone's elektrischen Telegraphen in Beziehung zur Wissenschaft (eine Begründung der Forderung, die Naturwissenschaften als einen Unterrichtszweig voll anzuerkennen).*)

Die Anwendung der physikalischen Wissenschaften hat in neuerer Zeit eine solche Entwickelung und Ausdehnung gewonnen und ist für das Wohl der Menschen so wesentlich geworden, dass sie mit Recht dazu dienen kann, den wahren Charakter der reinen Wissenschaft, als eines Bildungsmittels, und die Ansprüche auf Berücksichtigung seitens der Regierungen, Universitäten und aller Körperschaften, denen die Leitung der Erziehung und des Unterrichts anvertraut ist, ins rechte Licht zu stellen. Man hat bereits begonnen, das Recht der Naturwissenschaft anzuerkennen, einen eigenen Platz als Unterrichtsgegenstand einzunehmen; denn wenn auch ihre Wege und ihr Ziel äusserst verschieden ist von denen der Geisteswissenschaften, so führt sie doch, während sie mehr oder weniger den geistigen und leiblichen Bedürfnissen, den Bequemlichkeiten und dem Vergnügen jedes Einzelnen in jedem Lebensberufe dient, zugleich als Unterrichtsmittel nicht minder zur Schulung des Geistes. Bis vor wenigen Jahren haben die Körperschaften, denen die Leitung des gesammten Erziehungswesens obliegen soll, die Ausbildung darin nur insoweit berücksichtigt und sie nur insoweit anerkannt, als sie zu berufsmässigen Leistungen, d. h. zu solchen, welche bezahlt werden, dienlich sein kann, aber nunmehr wird die Frage discutirt, ob es opportun sei, dass die Universität in der Naturwissenschaft Grade ertheile, und Viele denken so hoch von ihr, dass sie meinen, sie dürfte wohl getrennt von den Geisteswissenschaften um ihrer selbst willen studirt werden, d. h. als eine eigenthümliche Bethätigung der menschlichen Intelligenz, fähig, alle Kräfte des Geistes zur Uebung und Entfaltung zu bringen. Als Unterrichtsgegenstand ist sie (abgesehen von ihren Anwendungen) von ebensolcher Ausdehnung und Mannigfaltigkeit als die Geisteswissenschaften und sie hat den Vorzug, dass sie stets wachsen muss. Es wird so Pflicht, sie als Unterrichtsmittel zu pflegen, zu leiten und in Ehren

---

*) Proceed. of the Royal Institution of Great Britain, 1854—1858, vol. II, p. 555. D. Ü.

zu halten, wie die Geisteswissenschaften in diesem Sinne geleitet und anerkannt werden; und diese Pflicht ist um so gebieterischer, als wir durch Erfahrung, die die von selbst fortschreitende Wissenschaft an die Hand giebt, wissen, dass es unter denen, die sich den Wissenschaften widmen, ebenso viele giebt, die zu jenen Studien natürliche Anlagen haben, als unter den die Geisteswissenschaften Pflegenden sich durch Neigung und Anlage hierzu auszeichnen.

Welchen Werth die staatliche Anerkennung der Naturwissenschaft als eines grundlegenden Unterrichtsgegenstandes hat, lässt sich sehr deutlich ermessen, wenn man erwägt, zu welcher Ausbildung diejenigen gelangt sind, die sich als Autodidakten derselben gewidmet haben. Zwar haben wohl diejenigen, welche es in den Geistes- oder Naturwissenschaften oder den schönen Künsten zu etwas bringen und sie fördern, specielle Geistesanlagen hierzu, aber Alle ohne Ausnahme müssen doch zunächst das lernen, was auf diesen Gebieten bereits bekannt ist, und wenn sie über diese ersten Kenntnisse hinausstreben, so bedarf es einer Selbsterziehung, die (wenigstens in der Naturwissenschaft) die höchsten Anforderungen an das Denkvermögen stellt. Man kann jeden Zweig der Naturwissenschaft herausgreifen, um den Nachweis zu führen, wie viel dieser Selbstunterricht zu Wege gebracht hat, und hiermit die in Fluss gekommene Bewegung zu unterstützen, die darauf gerichtet ist, dass der naturwissenschaftlichen Ausbildung dieselbe allgemeine Anerkennung gewährt werde, wie der literarischen; aber vielleicht thut man gut, auf die Elektricitätslehre hinzuweisen, da sie gerade derjenige Wissenszweig ist, der am meisten seiner eigenen freien Entwickelung überlassen worden ist, und der durch seine Ergebnisse die dauerndsten Spuren dem Antlitz der Erde aufgeprägt hat. Im Jahre 1800 entdeckte Volta die nach ihm benannte Säule und lieferte hiermit eine bis dahin unbekannte Quelle und Form der Elektricität. Es war dies kein Zufall, sondern ein Product der Selbsterziehung seines Geistes. Die Säule war anfangs ein schwaches Werkzeug und gab nur schwache Wirkungen, aber durch die vereinten geistigen Bemühungen Anderer, die durch ihre Denkkraft und das Experiment an ihrer eigenen Fortbildung arbeiteten, ist sie zu einer so mächtigen Kraftquelle geworden, dass sie uns Licht, Wärme, magnetische und chemische Wirkungen in stärkerem Maasse spendet, als durch andere Mittel zu erreichen ist.

Im Jahre 1819 entdeckte Oersted den Magnetismus des elektrischen Stromes und dessen Verhalten zur Magnetnadel, und im unmittelbaren Anschluss hieran haben Andere, wie Arago und Davy, indem sie die einzelnen Gesetze und die Wirkung der dabei in Betracht kommenden Körper aufsuchten, Eisen durch den Strom magnetisirt. Die Resultate waren anfänglich so gering, dass sie kaum sichtbar waren, aber durch die vereinten Bemühungen von Männern, die sich selbst unterrichteten, sind sie so erhöht worden, dass wir nun Magnete von einer früher ungeahnten Stärke haben.

Im Jahre 1831 wurde die Induction elektrischer Ströme auf einander und die Erregung von Elektricität durch Magnetismus entdeckt; anfänglich waren die Wirkungen so klein und schwach, dass man viel unterrichtet sein musste in der Verfolgung des Gegenstandes, um erstere wahrzunehmen und festzuhalten; aber diese schwachen Wirkungen wurden von Männern, die schon zum Theil unterrichtet waren und in dem Selbstunterricht immer vorwärts gingen, zu solcher Entfaltung gebracht, dass wir in ihnen nun Elektricitätsquellen haben, die, unabhängig von der Volta'schen Batterie oder der Elektrisirmaschine, doch die Eigenschaften beider in solcher Weise und in solchem Maasse in sich vereinigen, wie sie ihnen durch diese weder einzeln noch gemeinsam je hätten verliehen werden können, und die überdies überall anwendbar sind, wo überhaupt Elektricität für Zwecke des praktischen Lebens in Betracht kommt.

Alle Zweige der Elektricität vollständig in Betracht ziehen, hiesse bei dem ungeheuren Umfange derselben das Argument, wie sie sich zum Unterrichtsgegenstand eignet, aus den Händen verlieren, und daher wird es besser sein, die Aufmerksamkeit auf Eine Anwendung derselben zu beschränken, beispielsweise auf den elektrischen Telegraphen, und zwar im Augenblick sogar nur auf einen kleinen Theil dieser Anwendung. Gedanken an einen elektrischen Telegraphen regten sich bei denen, welche die Natur der Elektricität zu erforschen gesucht hatten, schon bald nachdem man erkannt hatte, mit welcher Geschwindigkeit dieses Agens durch Metalle fortgeleitet wurde, und in dem Maasse, als dieser Wissenszweig sich mehrte, befestigten sich auch jene Gedanken. Der nunmehr verwirklichte Gedanke schliesst eine wunderbare Menge von Kenntnissen und Geistesarbeit in sich. Wie das Ziel, das man im Auge hatte, immer deutlicher und deutlicher hervortrat, erlangten Punkte, die anfänglich ohne Bedeutung für die Wissenschaft zu sein schienen, eine solche Wichtigkeit, dass ihnen die sorgfältigste Behandlung und Untersuchung und die fast ausschliessliche Hingebung von Männern zu Theil wurde, deren Urtheils- und Denkkraft vermöge ihrer ganzen Erziehung ausgebildet war, die aber überdies diejenige specielle Art von Ausbildung erlangt hatten, welche das Studium der Naturwissenschaft in ihrem früheren Zustande zu gewähren vermochte. So zahlreich und wichtig die Punkte sind, die man bereits erkannt hat, so treten doch in dem Maasse als die mächtige Entwicklung ihren Fortgang nimmt, immer neue hervor und folgen so rasch auf einander, dass sich uns die Ueberzeugung aufdrängt, dass, so viel auch das uns Bekannte ist, es von dem noch Unbekannten weit übertroffen wird, und dass, so umfangreich auch die bisher sichergestellten Methoden, Thatsachen und Gesetze sind, dennoch eine Fortbildung begünstigt und geleitet werden muss, die zu weit bedeutenderen Resultaten führen kann.

Die bereits erlangten Resultate sind so umfassend, dass sie auch nur in Geldeswerth von grosser Bedeutung sind, von weit grösserer aber sind

sie und werden es sicherlich immer sein im Hinblick auf ihren Einfluss auf den menschlichen Geist, insbesondere auf die Durchbildung desselben. Es liegt hier nicht in meiner Absicht, die verschiedenen Telegraphen mit einander zu vergleichen oder ihre Entstehung, ihre Vorzüge oder ihren speciellen Nutzen darzulegen. Ich habe denjenigen von Wheatstone gewählt, um daran in Kürze die Argumente zu Gunsten einer staatlichen Anerkennung der naturwissenschaftlichen Ausbildung sichtbarlich zu beleuchten, da er ein Mann der Wissenschaft und Praxis zugleich ist und als einer der allerersten auf diesem Gebiete auftrat, und weil gewisse grosse Fortschritte im Verlaufe seiner telegraphischen Arbeiten für unseren Gegenstand überhaupt sprechen. Ohne auf seine älteren Leistungen zurückzugreifen, sei bemerkt, dass er im Jahre 1840 Patente auf elektrische Telegraphen genommen hat, welche unter Anderem die Anwendung der durch Magnete erregten Elektricität an dem Communicator, das Zifferblatt, die step-by-step-Bewegung und den Elektromagnet am Indicator umfassten. Gegenwärtig, 1858, hat er Patente genommen, die alle diese Dinge umfassen; die Apparate sind jedoch gegen die früheren so verändert und verbessert, dass ein Ununterrichteter sie nicht wiedererkennen würde. Die Aenderungen können als das Product der geistigen Fortbildung ihres Schöpfers angesehen werden und bilden in meinen Augen eine gewichtige Begründung für die Vorstellung, welche Erfolge man von einer allgemeinen naturwissenschaftlichen Ausbildung erwarten darf.[1])

In den ersten Apparaten wandte er kräftige Magnete und Anker, die mit schwerfälligen Spiralen umwickelt waren, an. Als die Elektricitätserregung durch Magnetismus entdeckt wurde, erhielt man nur schwache Wirkungen, und der Forscher verfiel darauf, die Wirkungen durch Vergrösserung der Apparate zu verstärken. Wollte man den Strom zum Zeichengeben durch lange Leitungen benutzen, so nahm man grosse Apparate, die jedoch wegen der damit verbundenen Trägheit Unzuträglichkeiten im Gefolge hatten: Der Anker gerieth nicht plötzlich in Bewegung und wurde nicht augenblicklich gehemmt, und bei unmittelbarer Verbindung mit dem Ablesungszeiger entstanden hieraus zuweilen Unsicherheiten in dem Gange. An der Hand der bisher gewonnenen Erkenntniss konnte man die Nachtheile, welche diese Umstände mit sich brachten, erkennen und zu deren Beseitigung schreiten. Man wendet nunmehr einen kleinen Magnet an, um Ströme von ausreichender Stärke durch eine Leitung von 12, 20, 50, 100 oder mehreren hundert Meilen zu senden; mit demselben ist ein Anker und eine Spirale combinirt, die man leicht mit der Hand in Bewegung setzen kann, und die Ströme enteilen dem zeichengebenden Apparat, um ihre Nachrichten fortzutragen, nicht eher, als bis ein Schlüssel nieder-

---

[1]) Die älteren und neueren Apparate wurden in Thätigkeit gesetzt, um das Gesagte im Einzelnen zu erläutern.

gedrückt wird, und damit ist jede Unregelmässigkeit, die durch das Anfangsspiel der Apparate verschuldet werden könnte, beseitigt. Ein kleiner Magnet, der stets zur Wirkung bereit ist und nie etwas vergeudet, kann die Volta'sche Batterie ersetzen; braucht man starke Wirkungen, so kann man einen Elektromagnet anwenden, ohne sonst an dem Princip oder der Einrichtung des Telegraphenbetriebes etwas zu ändern, und da magnetoelektrische Ströme besondere Vortheile vor den Volta'schen Strömen voraus haben, so bedient man sich derselben in allen Fällen. Diese Vortheile sind meiner Meinung nach das Product wissenschaftlicher Durchbildung, die zum grossen Theil das eigene Verdienst des Forschers, nicht eines seiner Lehrer ist. Allein die wissenschaftliche Erziehung hat noch den besonderen Vorzug, dass die Errungenschaft, die anfänglich eine persönliche ist, sofort den wissenschaftlichen Lernstoff vermehrt, dem Lehrer dazu dient, Andere daran zu bilden, und diese befähigt, sich selbst fortzubilden. Wie gut ist es, wenn der junge Mann, der in das Studium der Elektricität eintritt, an der Hand der Geschichte derselben lernt, auf die leisesten Anzeichen einer Wirkung, sie mögen neu oder bekannt sein, zu achten, sich auf alle Weise zu bemühen, um sie zu verstärken, alsdann die Gesetze derselben zu studiren, die wesentlichen Bedingungen von den unwesentlichen zu scheiden, und sie endlich zu verfeinern, bis er allen Beiwerks soviel als möglich entrathen kann, und das Agens in voller Deutlichkeit und höchster Wirksamkeit zurückbleibt!

Die durch die Bewegung des Ankers an dem Communicator hervorgerufenen Ströme gehen durch den Draht zu dem entfernten Indicator; jeder derselben magnetisirt daselbst ein Stück weiches Eisen und bewirkt so Anziehungen und Abstossungen kleiner permanenter Magnete, die ihrerseits auf einen Trieb wirken, wodurch der Zeiger nach unserem Willen von einem Buchstaben des Zifferblattes zu einem andern läuft. Die ersten Elektromagnete, die alle durch einen weiches Eisen umkreisenden Strom hergestellt wurden, waren schwach; sie wurden jedoch bald verstärkt und erst hierdurch liessen sich die Gesetze und Wirkungen derselben mit Erfolg erforschen. Man verlangte sie nun klein, aber kräftig. Alsdann kam die Belehrung durch das Ohm'sche Gesetz, und erst ausdauerndes Studium unter Leitung desselben setzte Wheatstone in den Stand, die kleinen Elektromagnete am Indicator so zu verfeinern, dass sie klein genug gemacht werden konnten, um für feines Arbeiten tauglich zu sein, um die ihnen zugewiesene Aufgabe erfüllen zu können, wenn sie durch die von dem Hauptmagnet ausgehenden kurzdauernden Ströme im entgegengesetzten Sinne erregt werden, und um trotz des Widerstandes, den sie diesen zeichengebenden Strömen entgegensetzen mögen, untadelhaft zu functioniren.

Diese kleinen temporären Elektromagnete ziehen gewisse Magnetnadeln an und stossen sie ab, und die hin- und hergehende Bewegung der letzteren wird durch einen Trieb auf den Zeiger übertragen und in eine schrittweise

Bewegung verwandelt. Hier ist Alles von der feinsten Ausführung; der Trieb selbst muss mit der Lupe beobachtet werden, um seinen Gang zu verfolgen; die Theile verlieren nie ihren Halt gegeneinander; das vibratorische oder rotatorische Sperrrad und die festen Spindellappen berühren einander beständig und verhindern somit jede Lockerung oder Erschütterung; die Axenlager sind mit Edelsteinen ausgelegt; die beweglichen Theile sind sehr sorgfältig balancirt, so dass eine Erschütterung des Systems die einzelnen Theile nicht stört und der Telegraph ebenso gut arbeitet, wenn er in der Hand herumgedreht wird oder an Bord eines Schiffes oder in einem Eisenbahnwagen aufgestellt ist, als wenn er unbeweglich festgelegt ist. Wo es möglich ist, wie bei der schwingenden Nadel, sind die beweglichen Theile dem Bewegungsmittelpunkte nahe gebracht, damit die Trägheit des zu bewegenden oder das Moment des zu hemmenden Theiles so klein als möglich sei und somit grosse Schnelligkeit in den Angaben erlangt werde. Der ganzen Anordnung und Ausführung ist diese Empfindlichkeit mit Bedacht gegeben worden; denn der Erfinder, den ich hier als den Studirenden bezeichnen darf, erkannte, dass bei feiner und vollkommener Ausführung der Gang des Apparates genauer, mit der Zeit und dem Gebrauche weniger veränderlich und dauerhafter ist als ein schwererer Apparat, der gröber ausgeführt, von weniger regelmässigem Gang sein muss und der Kraft schwacher elektrischer Ströme weniger zu gehorchen vermag.

Im Verlauf dieser Ausarbeitung waltete kein Zufall ob; die Versuche wurden durch die vorher erlangte Kenntniss geleitet, die bis dahin erworbene Ausbildung des Denkens war es, die jeden Theil der Untersuchung leitete. Wenn wir diese Erfolge bedenken (als Beispiele dieser Art könnten ebenso gut andere Telegraphen oder andere Zweige der Elektricitätslehre dienen), und wenn wir den Begriff der Erziehung in so weitem Sinne fassen, dass wir darunter Alles verstehen, was zur geistigen Ausbildung, sei es durch Aneignung fremder Kenntnisse, sei es durch Aeusserungen des eigenen Denkens, gehört, so lernen wir hieraus, welcher Art die Erziehung ist, die uns die Naturwissenschaft gewährt. Sie lehrt uns, nichts als *gleichgültig* anzusehen; kleine Anfänge nicht zu missachten, da sie mit Nothwendigkeit allem Grossen in der reinen oder angewandten Wissenschaft vorangehen. Sie lehrt uns *Kleines und Grosses* stets mit einander zu vergleichen, und zwar unter nahezu unendlich verschiedenen Bedingungen; denn das Kleine umfasst im Princip ebenso oft das Grosse, als dieses das Kleine, und so wird das Denken umfassend. Sie lehrt uns, die Principien mit Sorgfalt zu deduciren, sie festzuhalten oder das Urtheil noch aufzuschieben; die *Gesetze* zu entdecken und ihnen zu gehorchen und durch sie ermuthigt zu werden, das, was wir von dem Kleinsten wissen, auch auf das Grösste anzuwenden. Sie lehrt uns, zunächst von Lehrern und aus Büchern das bereits Bekannte zu lernen und dann an dem Lichte und den Methoden der Wissenschaft für uns selbst und für Andere zu lernen und so unserer-

seits für die Nachfolgenden Fruchtbringendes zu hinterlassen, wie wir es von den Vorgängern überkommen haben. Bacon sagt uns in seiner Instruction, dass der der Wissenschaft Beflissene nicht sein solle wie die Ameise, die nur einsammelt, auch nicht wie die Spinne, die aus ihrem eigenen Innern ihr Gewebe spinnt, sondern wie die Biene, die einsammelt und producirt zugleich.

Alles dieses gilt für die Belehrung, die jeder Theil der Physik gewährt. Man hat die Elektricität oft wundervoll, schön genannt, aber sie hat dies mit den übrigen Kräften der Natur gemein. Die Schönheit der Elektricität oder irgend einer anderen Kraft besteht nicht in dem Geheimnissvollen und Unerwarteten, nicht darin, dass sie unversehens alle Sinne trifft, sondern darin, dass sie dem *Gesetze* unterworfen ist und dass der gebildete Intellect sie nunmehr im grossen Maassstabe zu beherrschen vermag. Der menschliche Geist steht über, nicht unter ihr, und unter diesem Gesichtspunkte eben erscheint die Würde, die praktische Verwerthung und der Nutzen der geistigen Ausbildung, welche die Naturwissenschaft gewährt, so überwältigend; denn indem sie den Geist befähigt, die Naturkräfte vermöge ihrer eigenen Gesetze in seinen Dienst zu stellen, überträgt sie göttliche Gaben auf den Menschen.

Ueber die Erleuchtung von Leuchtthürmen. Das elektrische Licht.*)

Der Nutzen der Beleuchtung, den Seemann zu leiten, wenn er sich dem Lande nähert oder gewundene Canäle durchfährt, drängte mit dem Fortschritt der Wissenschaft und ihren stets wachsenden Einflüssen nothwendig zur Aufsuchung von immer vollkommeneren Mitteln, so dass es die äusserste Anspannung der Fähigkeiten des Physikers und Praktikers zugleich galt, die hier in Betracht kommenden Principien zu entwickeln und mit Erfolg anzuwenden. Früher waren diese Mittel einfach genug, und wenn das Licht einer Laterne oder Fackel nicht ausreichte, einen Ort anzugeben, so zündete man an deren Stelle ein Feuer an. Mit der fortschreitenden Ausbildung des Gegenstandes erkannte man bald, dass man die Hilfsmittel steigern konnte, nicht bloss dadurch, dass man das Licht verstärkte, sondern auch dadurch, dass man die Strahlen in bestimmte Richtung warf, und dies war in vielen Fällen ein wirksameres und nützlicheres Mittel als die Steigerung der Verbrennung, indem man so im Stande war, das Volumen des ersteren zu verkleinern und doch gleichzeitig eine grössere Intensität zu erreichen. Die gewünschte Richtung erzielte man entweder durch Anwendung von Linsen, die nur durch Brechung wirkten, oder durch metallische Reflectoren. Einige ältere Exemplare von beiden wurden vorgezeigt. In neuerer Zeit machte man auch von dem Princip der totalen Reflexion Gebrauch, das die Anwendung von Glas erfordert, und wobei sowohl Brechung als Reflexion ins Spiel kommt. In allen diesen Fällen geht viel Licht verloren; an der Spiegelungsfläche des metallischen Reflectors wird ein gewisser Bruchtheil des Lichtes absorbirt, und bei der Brechung durch Glaskörper geht an allen Flächen, wo der Strahl aus dem Glase in die Luft tritt, Licht verloren, ebenso auch durch Absorption in der Glasmasse selbst. Es giebt natürlich kein Mittel, durch irgend eine optische Vorrichtung die Gesammtmenge des Lichtes zu vermehren.

---

*) Proceedings of the Royal Institution of Great Britain 1858—1862, vol. III, p. 220. D. U.

Das den Raum durchdringende Licht muss einen gewissen Grad von Divergenz besitzen. Die Divergenz in verticaler Richtung muss gross genug sein, um den Meeresspiegel vom Horizont bis zu einem gewissen mässigen Abstande von der Küste zu bedecken, so dass alle Schiffe innerhalb dieser Strecke den leuchtenden Wegweiser zu erblicken vermögen. Ist sie geringer, so würde letzterer sich den Blicken entziehen, wo er gesehen werden sollte; ist sie grösser, so wird in demselben Maasse das Licht den Stellen entzogen, wo es gebraucht wird. Was die horizontale Divergenz betrifft, so mag es nothwendig sein, den optischen Apparat so einzurichten, dass das Licht innerhalb eines Winkels von 60^0 oder 45^0 in einen Strahl von nur 15^0 Divergenz concentrirt werde, so dass er in der Ferne nicht als ein continuirliches Licht, sondern als ein heller Blitz von einer gewissen Dauer erscheint, oder auch in einen Strahl von nur 5^0 bis 6^0 Divergenz, der zwar von weit kürzerer Dauer, aber von um so grösserer Intensität und durchdringenderer Kraft bei nebeligem Wetter ist. Die Grösse der Divergenz hängt in bedeutendem Maasse von dem Umfange der Lichtquelle ab und kann bei einer Flamme von gegebener Grösse nicht unter eine gewisse Grenze gebracht werden. Eine $1^1/_2$ Zoll hohe und $^7/_8$ Zoll breite Flamme einer Argandlampe im Brennpunkte eines gewöhnlichen parabolischen Reflectors des Trinity-house liefert einen Strahl von etwa 15^0 Divergenz; durch Vergrösserung der Lampenflamme können wir nicht gut den Helligkeitseffect steigern; denn wiewohl für Fresnel's dioptrische Anordnung Lampen mit vier Dochten und $3^1/_2$ Zoll Flammenweite gemacht werden, die wie kräftige Herdfeuer brennen, so würde doch der Effect einer solchen am Lampenorte des erwähnten Reflectors hauptsächlich darin bestehen, ein Strahlenbündel von grösserer Divergenz zu geben, und wenn man, um dies zu verbessern, einen Reflector von grösserer Brennweite nähme, so müsste er überhaupt grösser sein. Dasselbe Resultat erhält man im Allgemeinen mit dem dioptrischen Apparat, und hier stellt man die Lampen mit vier Dochten zuweilen nahezu 40 Zoll entfernt von der Linse auf, was einen zwar sehr feinen, aber auch sehr grossen Glasapparat nothwendig macht.

Wenn andererseits das Licht concentrirt werden könnte, so würde die Nothwendigkeit eines so grossen Apparates fortfallen, und man könnte ihn von der Grösse eines Zimmers auf die eines Hutes reduciren, und dies ist es eben, was wir zum Zwecke der Beleuchtung in dem elektrischen Funken und ähnlichen concentrirten Lichtquellen suchen. Es ist freilich wahr, dass wir durch Vermehrung der Lampen nebst ihren Reflectoren, die das Licht nach einer und derselben Seite oder Richtung werfen, eine mächtige Verstärkung erreichen können, und bei manchen rotirenden Beleuchtungsvorrichtungen dient eine Combination von zehn Lampen und Reflectoren, um den gewünschten Lichtblitz zu geben. Allein in diesem Falle können nicht mehr als drei dieser Flächen in dem ganzen Kreise angebracht werden, und wenn ein feststehendes Licht in allen Richtungen rings um den Leucht-

thurm verlangt wird, so giebt es bisher nichts Besseres als Fresnel's vierdochtige Lampe im Mittelpunkte seines dioptrischen und katoptrischen Apparates. Nun kann man das elektrische Licht leicht dem der Oellampe gleich machen und mit demselben an Stelle der letzteren genau dasselbe erreichen; es kann aber auch, wenn man die Kosten daran wendet, um das Fünf- oder Zehnfache oder noch mehr gesteigert werden und somit den fünf- oder zehnfachen Effect geben. Dies kann nicht bloss ohne Vergrösserung des Volumens des Lichtes erreicht werden, sondern sogar mit einem Lichtvolumen, das kaum den zweitausendsten Theil des der Oelflamme beträgt. Man sieht demnach, welchen ausserordentlichen Nutzen wir für die Verkleinerung des optischen Apparates und Vervollkommnung dieses Theiles desselben erwarten dürfen.

Dem Trinity-house sind viele concentrirte intensive Lichter vorgelegt worden, und diese Körperschaft hat bei verschiedenen Gelegenheiten durch Aufwendung von bedeutenden Geldmitteln und viel Zeit ihr grosses Interesse kundgegeben, alle diese Vorschläge zu fördern und die Küstenbeleuchtung zu verbessern. Offenbar darf ein Leuchtthurm niemals seinen Dienst versagen, seine Functionirung muss eine sichere sein und darf nicht durch Einführung irgend eines Planes oder Vorschlages oder Apparates, dessen Eigenschaften nicht in jeder Hinsicht vollkommen bekannt sind, unterbrochen werden; die Menge des erzeugten Lichtes, der Aufwand, den dieses erfordert, die Abnutzung des angewandten Apparates, ob er 16 Stunden hindurch Licht zu liefern im Stande ist, ob es nicht geneigt ist zu erlöschen, welche Sorgfalt der Nachtdienst erfordert, wie gross die Bedienung sein muss, welcher Art die Unfälle sind, die möglicherweise eintreten können, ob er geeignet ist für abgeschlossene Räume — alldies und andere zufällige Umstände muss man vorher ermitteln, da dies ebenso gut ausserhalb eines Leuchtthurmes wie in demselben geschehen kann. Der elektrische Funke, den Holmes in dem South Foreland High Light während sechs Wintermonate zur Anwendung gebracht hat, musste sich allen diesen Prüfungen unterwerfen, ehe er zu dem praktischen Versuche Anwendung fand. Der Funke wurde nicht durch Reibungselektricität, auch nicht durch Volta'sche Elektricität, sondern durch magnetische Wirkung gewonnen. Ein Funke dieser Art (wie überhaupt Elektricität durch Magnetismus) wurde zum ersten Mal vor 28 Jahren erhalten (Philosophical Transactions, 1832, p. 32; Experim. Untersuch., I, p. 7). Wird ein mit Draht umwickelter Eisenkern in gerader Richtung in der Nähe der Pole eines Magnets bewegt, so geht durch ersteren ein Elektricitätsstrom oder sucht durch ihn zu gehen. Demnach sind auf einem Rade viele kräftige Magnete so angeordnet, dass sie einem anderen Rade ganz nahe gegenüber stehen, auf dem viele Spiralen mit ihren Kernen wie die beschriebene befestigt sind. Auf einem dritten Rade sind wie auf dem ersten Magnete angeordnet, demselben ganz nahe befindet sich ein viertes Rad mit Spiralen und diesem nahe wiederum ein fünftes mit Magneten. Sämmt-

liche Magneträder sind auf einer gemeinschaftlichen Axe befestigt, während sämmtliche Spulenräder unbeweglich an ihrer Stelle bleiben. Die Spulen sind mit einem gemeinsamen Commutator verbunden, welcher die bei der Umdrehung der Magneträder in den Spulen entstehenden elektrischen Ströme sammelt und sie als einen einzigen Elektricitätsstrom durch zwei isolirte Drähte in die Leuchtthurmlampe sendet. Man sieht somit, dass zur Erzeugung der Elektricität nichts weiter nöthig ist, als die Magneträder in Rotation zu versetzen. In South Foreland sind zwei magnetoelektrische Maschinen aufgestellt, die durch eine zweipferdige Dampfmaschine in Umdrehung versetzt werden, und abgesehen von der Abnutzung besteht der gesammte Materialverbrauch zur Herstellung des Lichtes aus Cokes und Wasser zur Erzeugung des Dampfes für die Maschine und den Kohlenstiften für die Lampe.

Die Lampe ist eine feine mechanische Vorrichtung, durch welche die beiden Kohlenstifte, zwischen denen das elektrische Licht besteht, gehalten und ihre Stellung zu einander derart regulirt wird, dass trotz der allmählichen Aufzehrung derselben der Ort des Lichtes sich nicht ändert. Die elektrischen Drähte enden in den beiden Schienen einer kleinen Eisenbahn, auf denen die Lampe ruht. Sobald die Kohlen einer Lampe nahezu verbraucht sind, wird diese fortgenommen und eine andere augenblicklich an ihre Stelle geschoben. Die Maschinen und die Lampen haben ihre Aufgabe während der vergangenen sechs Monate in vollkommener Weise erfüllt. Das Licht ist niemals durch irgend einen Fehler oder Anlass im Maschinenhaus ausgegangen, und wenn es einmal in der Lampe erlosch, so brachte ein einziger Druck der Hand des Wärters es wieder zu seinem früheren Glanze. Das Licht beleuchtete den Canal auf- und abwärts und seine ganze Breite bis nach Frankreich mit einer Intensität, die die eines jeden anderen im Gesichtskreise oder sonst vorhandenen Lichtes weit übertraf. Der Versuch hat sich gut bewährt. Es bleiben noch die Kosten und einige andere Umstände zu erwägen, aber es ist die Hoffnung und der Wunsch des Trinity-house und Aller, die bei dieser Sache interessirt sind, dass sich schliesslich die definitive Einführung desselben rechtfertigen wird.

Ueber den elektrischen Seiden-Webstuhl.*)

„*Illustrans commoda vitae*“ [1]), das Motto der Royal Institution, soll an dem letzten Abend der Tagung das leitende Princip bilden, indem ein Bericht gegeben wird über Bonelli's Anwendung der Elektricität beim Figuren-Webstuhl. Es ist wohlbekannt, auf welche erstaunliche Vervollkommnung Jacquard den Seiden-Webstuhl gebracht hat, so dass Kunstkenner von höchstem Range die Erzeugnisse desselben ohne ganz genaue Besichtigung nicht von der vollkommensten Gravirung zu unterscheiden vermögen, und wie er den Weber gelehrt hat, eine Reihe von Karten herzustellen und sie alsdann automatisch zu gebrauchen, so dass er das Muster, das dieselben darstellen, beliebig oft zu reproduciren vermag. Alle Ausführungen nach Patronen in der Webefabrik, diese mögen einfach oder verwickelt sein, hängen ab von der Art wie die Kettenfäden gesondert werden, ehe der Einschuss geworfen wird, und wie die Kettenfäden wieder geordnet werden, welche herumgeführt werden, jedes Mal wenn das Schiffchen hinüberschiesst. Ein einzelner Einschussfaden repräsentirt also ein Element der Zeichnung, und bei der Jacquardmaschine verlangt jeder einzelne eine in gewisser Ordnung durchlochte Karte, welche gegen die Enden einer Reihe horizontaler Stäbe gebracht, den einen ungestört zu bleiben gestattet, während andere zur Seite geschoben werden. Durch die Thätigkeit des Trittbrettes werden die mit den ungestörten Stäben vereinigten Kettenfäden gehoben, während die zu den verschobenen Stäben gehörigen in Ruhe bleiben, und um dies regelrecht auszuführen, ist für jeden Faden, der die Kette in der Ausdehnung der Patrone kreuzt, noch eine besondere durchlochte Karte erforderlich. Oft sind Tausende von Karten nöthig und zur Herstellung von Jacquard's in schwarzer und weisser Seide gewebtem Portrait wandte man nicht weniger als 24 000 an.

Hat man sich für ein Muster entschieden, so muss es in diese Karten umgewandelt werden, von denen man eine für jeden in der Zeichnung ent-

---

*) Proceedings of the Royal Institution of Great Britain, 1858—1862, vol. III, p. 271. D. Ü.

[1]) Lucretius, III, 2.

haltenen Einschussfaden braucht. Die Herstellung und Durchlochung derselben erfordert viel Sorgfalt und Zeit, und alsdann müssen sie zu einer Kette ohne Ende in geeigneter Ordnung mit einander verknüpft werden. Eben diesen Theil der Webevorrichtungen suchte Bonelli durch Anwendung der Kraft der Elektricität zu ersetzen. Anstatt der vielen durchlochten Karten hat er nur eine Karte oder vielmehr deren Aequivalent, eine vertauschbare Messingplatte, die mit der vollen Anzahl der erforderlichen Löcher versehen ist (bei dem in Thätigkeit gesetzten Stuhl betrug sie 400). Diese Löcher können verschlossen oder offen gelassen werden, so dass sie durch diese successiven Aenderungen den auf einander folgenden Karten der Jacquardmaschine entsprechen. Zu diesem Zwecke bildet man eine Platte von dicht auf Papier geklebtem Stanniol. Die Zeichnung wird auf der metallischen Fläche mit schwarzem bituminösem Firniss entworfen, und die Stanniolplatte als Streifen ohne Ende um eine Walze gelegt und durch Arretirungen in ihrer Lage gehalten; sie dreht sich also mit der Walze und wird durch deren Bewegung mitgenommen. Oben auf der Walze ruht eine Reihe von Zähnen, die die Patrone in einer Linie berühren. Die Zähne sind aus dünnem Messingblech; sie sind so dünn, dass 400 derselben nicht mehr als 16 bis 17 Zoll einnehmen, d. i. die Breite der Zeichnung auf der Walze, stehen jedoch dabei so weit von einander ab, dass jeder von seinem Nachbarn durch einen kleinen Elfenbeinzahn isolirt ist; sie sind ferner gross und schwer genug, um auf die Patrone zu fallen und dort liegen zu bleiben, und so bewirken sie, wo das Stanniol freiliegt, guten elektrischen Contact, während sie an den Stellen der bituminösen Zeichnung isolirt sind.

Hinter diesen Zähnen sind 400 kleine Elektromagnete einander parallel und isolirt in einem Rahmen befestigt. Die dünnen besponnenen Drähte, aus denen ihre Spiralen bestehen, sind mit einem Ende mit den eben beschriebenen Zähnen verbunden, jedes mit einem Zahn, während die anderen Enden zusammen an einer Metallplatte und einem Draht festgelegt sind. Weiter gelangt dieser Draht zu einem Unterbrecher oder Contactgeber, von dem die metallische Verbindung zu einer Schraube führt, die die Verbindung mit dem einen Ende einer Bunsenbatterie von fünf Elementen vermittelt, deren anderes Ende mit einer der ersteren benachbarten Schraube communicirt. Von dieser Schraube geht ein Draht zu zwei isolirten Zähnen, ähnlich denen über der Patrone, doch schwerer, und diese ruhen auf den freiliegenden Rändern des Stanniols zu Seiten der Patrone, so dass sie beständig eine elektrische Communication mit demselben unterhalten. Mittelst einfacher, aber vollkommener und sicherer mechanischer Vorrichtungen spielen sich in diesem Theil des Apparates folgende Bewegungen und Vorgänge ab. Wenn der Fuss des Webers in einem gewissen Zeitmomente das Trittbrett herunterdrückt, so senken sich die 400 Zähne auf die Patrone herab, und dann ist die Kette durch den Einzeldraht an dem Unterbrecher geschlossen; der elektrische Strom geht durch diesen Draht und theilt sich

in so viele Zweige, als Zähne das Metall in der herzustellenden Linie der Patrone berühren. Alle mit diesen Drähten umwickelten Elektromagnete werden hierdurch wirksam, während die anderen unmagnetisch bleiben. Hebt dann der Weber den Fuss, so dass die Bewegungen die umgekehrten sind, so wird zunächst die Verbindung mit dem Unterbrecher gelöst, wodurch aller Strom verschwindet, die Magnete ihren Magnetismus verlieren und die Zähne von der Patrone sich heben. Der diese tragende Cylinder bewegt sich genau so weit vorwärts, um den Zähnen (sobald sie sich wieder senken) die neue Linie der Patrone zur elektrischen Ausmusterung darzubieten, die Zeit entspricht dem nächsten Einwurf des Einschussfadens. Da die Patrone sich, während sie mit den Zähnen in Berührung ist, nicht bewegt, so wird sie von ihnen nicht zerschnitten oder verdorben. Da der Strom durch den Interruptor erst geschlossen wird, nachdem der Contact mit den Zähnen hergestellt ist und ehe sie getrennt werden, so kann auch die Metallsubstanz derselben nicht schmelzen oder verbrennen, und da eine zungenförmige Bürste angebracht ist, die zur rechten Zeit unter den Zähnen fort geht, sie gehoben hält und von den abgeriebenen Patronentheilchen abhält, so bleiben sie stets blank und versagen nie den Contact.

Mit diesen 400 Magneten und in derselben Linie mit ihnen sind 400 Cylinder von weichem Eisen, Pistons genannt, combinirt; sie werden von einem Rahmen getragen, der sich zwischen den Magneten und den zu den Aufhängungen der Kettenfäden gehörigen horizontalen Stäben horizontal hin und her bewegt. Sie bewegen sich gerade zu der Zeit gegen die Magnete hin, während welcher diese von dem elektrischen Strome umkreist werden, und finden demnach einige der Elektromagnete erregt, da deren Zähne das Metall der Patrone berühren. Da der Pistonrahmen seine Rückkehr beginnt, ehe der Strom unterbrochen wird, so werden diejenigen Pistons, welche die erregten Magnete berührt haben, zurückgehalten, während die anderen ihren Rückweg angetreten haben. Die Pistons sind sonach in zwei Gruppen getheilt, von denen die eine etwa einen halben Zoll hinter der anderen zurückbleibt. Nun kommt die durchlochte Messingplatte ins Spiel, die hier die Function der Jacquard-Karte übernehmen soll. Die Platte hat 400 kreisförmige Löcher, steht vertical und ist mit den von den Elektromagneten abstehenden Enden der Pistons verbunden; sie kann sich eine kurze Strecke auf- und abwärts bewegen. Jeder der 400 Pistons ist mit einem Knopf versehen, der frei durch das ihm entsprechende Loch hindurchgehen kann, wenn die Platte oben ist, aber an dem Loch gehemmt wird, wenn die Platte unten ist und dann jenes verschliesst. Nun ist die Zeit so abgepasst, dass, wenn der Pistonrahmen sich so weit vorwärts bewegt hat, dass die beiden Gruppen sich scheiden, die Platte herabgeht, und dann verschliessen die zu der nicht zurückgehaltenen Gruppe gehörigen Knöpfe die entsprechenden Löcher, während die Knöpfe der zurückgehaltenen Gruppe bereits hinter ihren

Löchern sind und sie somit offen gelassen haben. So wird die Jacquard-Platte gebildet, und indem sie sich ein wenig weiter bewegt, wirkt sie auf die oben erwähnten horizontalen Stäbe, und nachdem sie so die Aufhängungen der Kettenfäden geordnet hat, geht sie zurück oder gegen die Elektromagnete hin, um unter dem Einfluss der elektrischen Ströme mittelst der entsprechenden Zähne von Neuem die Oeffnungen für den nächsten Einwurf des Einschussfadens bereit zu machen.

Die Anwendung der Elektricität, um die Zeichnung zu entziffern und auf den Webstuhl zu übertragen, bedingte manche Eigenthümlichkeiten, besondere Umstände und Schwierigkeiten. Dieselben wurden besprochen, und die Art, wie man ihnen mit Vortheil beikam oder sie überwand, wurde durch ausgedehnte und specielle Versuche erläutert.

Ueber den Zusammenhang zwischen den magnetischen Variationen und den Sonnenflecken.*)

Schliesslich wurde der merkwürdigen Beobachtung Sabine's über gewisse Coincidenzen des Auftretens von Sonnenflecken und der täglichen Variation des Erdmagnetismus, die von Wolf, Gautier und Anderen bestätigt wird, Erwähnung gethan. Schwabe hat seit dem Jahre 1826 sorgfältige Beobachtungen der Sonnenflecke angestellt und gefunden, dass dieselben von Jahr zu Jahr allmählich an Zahl und Grösse zunehmen, dann abnehmen, wieder zunehmen, abermals abnehmen und so fort in einer regelmässigen Periode von etwa zehn Jahren. Das Folgende ist ein Theil seiner Tabelle[1]), welche die Jahre der Maxima und Minima der Sonnenflecke enthält.

	Gruppen im Jahre	Tage ohne Flecke	Beobachtungstage
1826			
1828	225	0	282
1833	33	139	267
1837	333	0	168
1843	34	149	312
1848	330	0	278
1851			

Lamont (Dec. 1851)[2]) wurde durch neue Untersuchungen über atmosphärischen Magnetismus zu einer Prüfung der täglichen Aenderungen der magnetischen Declination geführt und fand im Ganzen eine abwechselnde Zu- und Abnahme mit einer regelmässigen Periode von etwa zehn Jahren; das Jahr 1844 zeigte ein Minimum von 6',61 und das Jahr 1848 ein Maximum von 11',15.

Sabine[3]) (März 1852) suchte nach periodischen Gesetzen unter den mittleren Werthen der grösseren magnetischen Störungen und fand eine gleichzeitige Periode von Zu- und Abnahme zu Hobarton und Toronto,

---

*) Proceedings of the Royal Institution of Great Britain, vol. I, p. 287. Vgl. *Vorbemerkung*, p. IV. D. Ü.

1) Humboldt's Kosmos III, 291, 292. Bibliothèque Universelle, 1852, XX, 184.

2) Poggendorff's Annalen, LXXXIV, p. 572.

3) Philosophical Transactions, 1852, p. 103.

also an entgegengesetzten Stellen der Erdkugel; das Minimum trat 1843 ein, das Maximum 1848, was also fast genau mit Lamont's Beobachtungen in München übereinstimmt. Ausserdem aber wies er auf den merkwürdigen Umstand hin, dass diese täglichen Variationen der magnetischen Declination eine Periode von gleicher Dauer haben wie nach Schwabe's Entdeckung die Sonnenflecke, ja mehr noch, dass die Maxima und Minima dieser beiden so verschiedenen Erscheinungen zusammenfallen; denn das Jahr 1843 weist die kleinste tägliche Variation und auch die kleinste Zahl der Sonnenflecke auf, 1848 die grösste magnetische Variation und die grösste Anzahl Sonnenflecke. Auch für die tägliche Aenderung der magnetischen Inclination auf beiden Erdhälften fand er dieselbe Periode der Zu- und Abnahme mit denselben Epochen. Die Erscheinung ist eine allgemeine, indem sie sowohl sämmtliche magnetische Elemente, als auch die von einander entferntesten Stellen der Erde betrifft.

Gautier scheinen diese Coincidenzen ebenfalls aufgefallen zu sein, aber er veröffentlichte seine Ansicht erst Juli 1852.[1]) Wolf in Bern, der die Geschichte der Sonnenflecke zu erforschen suchte, hatte denselben Gedanken und veröffentlichte ihn zuerst Ende Juli oder Anfang August 1852.[2]) Er war bemüht, den allgemeinen Zustand der Sonnenflecke vom Jahre 1600 zu verfolgen und gelangt zu dem Schluss, dass die Dauer der Periode in Wirklichkeit 11,11 Jahr sei. Da es unmöglich ist, dieses Zusammenfallen der Dauer der Periode und der Zeit der Maxima und Minima dieser beiden so sehr von einander verschiedenen Erscheinungen sich gegenwärtig zu halten, ohne eine in gewisser Beziehung gemeinsame Ursache anzunehmen, so erhalten wir durch diese Beobachtungen gegenwärtig einen stärkeren Antrieb als je zu einer ernsten und eingehenden Untersuchung der wahren und inneren Natur des Magnetismus, da wir hierdurch nun neue Hoffnung gewinnen, nicht bloss diese merkwürdige Kraft der Erde von einer neuen Seite zu erfassen, sondern die ähnlichen Kräfte der Sonne selbst.

---

[1]) Bibliothèque Universelle, 1852, XX, 189.
[2]) Proceedings of Natural Society of Berne, Nr. 245—247.

Bemerkungen über Magnetismus.*)

Mein lieber Tyndall,

Was ich Ihnen hier in Bezug auf Ihren Brief vom vorigen Monat[1]) schreibe, soll nicht als eine Erwiderung gelten, sondern ich habe hiermit nur die Absicht zu sagen, dass es mir zweckmässig und passend erscheint, abzuwarten, damit die Gedanken, welche durch meine Abhandlungen etwa angeregt werden, von denen, die geneigt sind, den Gegenstand zu prüfen und zu fördern, mit Musse erwogen und beurtheilt werden können. Vielleicht sehe ich mich dann nach Verlauf einer angemessenen Zeit veranlasst, diejenigen Erläuterungen, Geständnisse oder Schlüsse vorzubringen, welche der Stand der Sache nothwendig oder nützlich erscheinen lassen sollte.

Inzwischen wird es für unseren Gegenstand um so besser sein, je grösser die Anzahl anomaler Thatsachen und Folgerungen wird; denn sie können nur so lange anomal erscheinen, als wir im Irrthum befangen bleiben. Ich darf jedoch sagen, dass die von Ihnen vorgebrachte Idee mir keine Schwierigkeit bereitet. Denn da ich bei meinen früheren Untersuchungen (Experim. Untersuch. 2501) über die magnekrystallischen Erscheinungen, welche ein und derselbe Körper in verschiedenen Medien darbietet, gefunden habe, dass die magnekrystallische Differenz in denselben ungeändert bleibt, so macht es mir keine Schwierigkeit, mir vorzustellen, dass ein Körper (wie Wismuth), der im amorphen Zustande denselben magnetischen Charakter hat wie das umgebende Medium, als Krystall in der einen Richtung paramagnetisch und in einer anderen diamagnetisch wäre (3157). Was in einem Medium geschieht, kann nach meiner Kenntniss der Dinge auch im leeren Raume geschehen, und das ist in völligem Einklang mit Thomson's klarer Abhandlung über die Theorie der magnetischen Induction in krystallinischen Körpern.[2])

Was die Wirkungen des Druckes betrifft, auf welche Sie in Ihrem

---

*) Philosophical Magazine 1855, vol. IX, p. 253.

[1]) Ibid. p. 205. [Tyndall's Brief bezieht sich auf Faraday's Abhandlung: On some Points of Magnetic Philosophy, oben p. 486. D. Ü.]

[2]) Ibid. 1851, vol. I, p. 177.

Briefe hinweisen, so können wir nicht gut nach der einen oder anderen Seite hin Schlüsse ziehen, so lange wir nicht besser verstehen, was der Druck eigentlich thut. Ich weiss nicht, ob Sie meinen, dass der Druck, während er das Wismuth in der einen Richtung stärker diamagnetisch macht als in einer anderen, auch im Ganzen seinen Diamagnetismus verstärkt, oder ob Sie meinen, dass es in der zum Drucke senkrechten Richtung *schwächer* diamagnetisch wird. Gmelin sagt, gestützt auf die Autorität von Marchand und Scheerer (vol. IV, p. 428), dass die Dichte des Wismuths mit der Vergrösserung des Druckes abnimmt, und giebt, so auffallend auch die Thatsache ist, als Werth der Dichtigkeiten bei wachsendem Drucke die Zahlen 9,783, 9,779, 9,655, 9,556 an; zugleich finde hierbei eine Structuränderung statt. Wenn die Angabe richtig ist, so könnte die Drucklinie in Ihren schönen Versuchen die Linie der *kleinsten Dichtigkeit* oder der *kleinsten Annäherung* sein, obschon ich kaum weiss, wie dies zu denken sei. Es ist jedoch schwierig, aus der Constitution eines comprimirten Körpers Schlüsse zu ziehen, ehe wir wissen, was während der Compression geschieht, obschon es keine Schwierigkeit macht, ihn nach der Compression als eine magnekrystallische Substanz anzusehen.

Sie wissen (und hoffentlich werden es auch Andere sich gegenwärtig halten), dass ich die Kraftlinien[1]) lediglich als *Repräsentationen* der magnetischen Kraft hinstelle und keine Meinung darüber ausspreche, auf welche physikalische Idee sie einst führen können, oder worauf sie sich werden zurückführen lassen. Ohne ein Princip aufzustellen, behaupte ich, dass die bisherigen Fundamentalhypothesen, gegen die Gesammtheit der bisher bekannten Thatsachen gehalten, sich selbst widersprechen und unanwendbar sind. Die Sätze dagegen, dass die wahre *Richtung* und *Polarität* der magnetischen Kraftlinien immer durch den in einem ihrem Einfluss ausgesetzten bewegten Metall inducirten elektrischen Strom angegeben wird; dass die Dualitäten der Elektricität und des Magnetismus stets wesentlich mit einander verknüpft sind; dass die Dualitäten eines isolirten Magnets nicht rückwärts durch gerade Linien, die den Magnet durchsetzen, mit einander verknüpft sind, — diese Sätze sind in meinen Augen nicht hypothetischer Natur, sondern lassen sich leicht durch den Versuch beweisen, und eben sie, nebst den Erwägungen, welche sich aus dem Princip der Erhaltung der Kraft ergeben, scheinen mir durch die hergebrachten Hypothesen unerklärt zu bleiben und mit ihnen in Widerspruch zu stehen. Zwischen den Gesetzen der magnetischen Wirkung und ihrer mathematischen Entwickelung besteht kein Widerspruch, und zwar einfach deshalb, weil sie bisher nur theilweise angewandt worden sind, und insoweit stimmen sie mit *allen* aufgestellten Ansichten, die meinige eingeschlossen, überein. Wenn

---

[1]) Es sind nahezu vierundzwanzig Jahre her, dass ich zum ersten Mal die Aufmerksamkeit auf diese Linien lenkte. Experim. Untersuch. 114 Note.

der Versuch gemacht wird, sie so anzuwenden, dass sie die *paramagnetischen*, *diamagnetischen* und *elektromagnetischen* Erscheinungen sämmtlich umfassen, und sie zugleich aus einer einzigen hypothetischen Ursache abzuleiten, dann können sie eine solche Breite gewinnen und dennoch so genau werden, dass sie uns befähigen würden, die wahren und falschen Annahmen von einander zu scheiden. Ich selbst mache keinerlei Annahme, sondern ziehe nur aus den bereits bestehenden Annahmen und den nun entdeckten Erscheinungen, solche Schlüsse, die sich dem Versuche unterwerfen lassen, und denen man durch Thatsachen beikommen kann.

Manche mögen überrascht sein, dass ich mich bei Dingen aufhalte, die durch die Hypothese zweier magnetischer Fluida vollkommen und mathematisch erklärt sind, wie beispielsweise bei dem Fall der Orte von geringer oder ohne Wirkung (3341 etc.). Mein Grund hierfür ist der, dass, da ich mich durch die Erscheinungen des Diamagnetismus überzeugt habe, dass jene Hypothese nicht richtig sein kann, alle diese und ähnliche Erscheinungen einen neuen Charakter und eine höhere Bedeutung gewinnen als sie vorher besassen, und nebst anderen theoretischen Anwendungen, die sie gewähren, nachdrücklichst die wesentliche Beziehung der Dualitäten und die Aequivalenz ihres Kraftbetrages darthun. Sie widersprechen nicht der alten Hypothese, wenn dieselbe theilweise angewandt wird, aber sie sind nicht minder ein strenges und schlagendes Argument zu Gunsten der Theorie der Kraftlinien.

Ich bin, mein lieber Tyndall,

Ihr sehr ergebener

Royal Institution,
14. März 1855.

M. Faraday.

BIBLIOTHECA REGIA MONACENSIS

Register.

NB. Ein horizontaler Strich bezieht sich auf die unmittelbar voranstehenden gesperrt gedruckten Worte. Die Zahlen bedeuten, wenn nichts anderes gesagt ist, die Nummern der Artikel. Die Hinweisungen beziehen sich bald ausschliesslich auf den genannten Artikel, bald gleichzeitig auf die folgenden. p. bedeutet die Seitenzahl.

Die nur in den Anmerkungen des Uebersetzers vorkommenden Namen sind mit * bezeichnet.

Ampère 2341, 3266.
Antimon, magnekrystallisches Verhalten 2508, 2512, 2513, 2526.
Arago 2341.
Arsen, magnekrystallisches Verhalten 2532.
Athabaska-See, magnetische Variationen 2913, 2968.
Atmosphäre, magnetischer Charakter 2853, 2863, 2963.
— ihre wahrscheinliche Wirkungsweise 2864, 2917, 2920, 2934, 2997.
Atmosphärischer Magnetismus, 2453, 2796, 2847, 2997, p. 293.
— allgemeine Principien 2878, 2917, 2997.
— Wirkungsgesetze 2969.
— experimentelle Analogien 2969, 2997.
— Einfluss kalter Luft 2864, 2917, 3003, 3420.
— Einfluss warmer Luft 2877, 2939, 3240.
— Variation mit der Höhe 2878, 2941.
— — in verschiedenen Breiten 2881.
— — unter Einfluss des Druckes 2952.
— — unter Einfluss der Winde 2954.
— — unter Einfluss von Regen und Schnee 2955.
— jährliche Variation 2882, 2947, 3001.
— tägliche Variation 2892, 2920, 3000.
— — zur Nachtzeit 3002.
Axial und äquatorial 2252.

Babbage 2341.
Bancalari, Diamagnetismus der Flammen 2720, p. 429, 450.
Becquerel, A., über atmosphärischen Magnetismus p. 197 Anm.
— über Magnetismus aller Körper p. 25 Anm.
— Transversalmagnetismus p. 420.
*— H., magnetische Drehung der Polarisationsebene des Lichtes in Gasen p. 10.
Berthier, magnetisches Verhalten des Mangans 2372.
Bessel, Erdmagnetismus 2962.
Biot, Intensität des Erdmagnetismus in höheren Luftschichten 2850, 2961.
Blitz, Dauererscheinung p. 611.
Blut, diamagnetisch 2281, 2285.
Blutlaugensalz, rothes, Magnekrystallkraft in verschiedenen Medien 3380, 3388, 3391.
— Einfluss der Wärme 3414.
*Boltzmann, Dielektricitätsconstante der Gase p. 72.
Bonelli, Anwendung der Elektricität beim Seiden-Webstuhl p. 631.
von Breda, Leitung der Elektrolyte p. 575.
Brugmans, Abstossung des Wismuths durch einen Magnet p. 75 Anm.
Buff, Leitung der Elektrolyte p. 575.

Cap der guten Hoffnung, magnetische Variationen 3035, 3069.

Circularpolarisation, magnetische 2230.
— wesentlich verschieden von der natürlichen 2231.
Clark, gleichzeitige Strömungs- und Ladungswirkungen pp. 467, 475, 529.
Cobalt, magnetischer Zustand in der Wärme p. 407.
— Einfluss der Wärme auf die absolute magnetische Kraft 3426.

Davy 3266.
De la Rive, Hypothese über Magnetismus p. 483.
— Leitung der Elektrolyte p. 575.
Despretz, Leitung der Elektrolyte p. 575.
Diamagnetische Bewegungen 2253, 2257, 2259, 2271.
Diamagnetische Curven 2270.
Diamagnetische Einstellung 2258, 2282.
Diamagnetische Körper, Definition 2149, 2790.
— Unterschied von den paramagnetischen p. 420.
Diamagnetische Kraft, Aenderung mit der Entfernung p. 463.
Diamagnetische Polarität 2229, 2689, 3311, 3320.
— Natur derselben 2497, 2640, 2820.
— Untersuchung durch Inductionsströme 2655, 2663.
— — Anziehungs- und Abstossungserscheinungen 2640, 2665.
— — Einflüsse der Zeit 2681.
— — Geschwindigkeit 2681.
— — Spiralen 2668.
— — Verkürzung der Kerne 2657.
— — Zertheilung 2658.
— — — in Drähte 2659, 2662.
— — — in Scheiben 2659, 2661.
Diamagnetische Reihe 2284, 2307, 2399.
Diamagnetische Substanzen 2275, 2279, 2280, 2399.
— Antimon 2295.
— flüssige 2279.
— Krystalle 2278.
— Metalle 2291, 2295, 2425.
— Phosphor 2277, 2284.
— Wismuth 2295.
Diamagnetische Wirkung, Natur derselben 2417, 2427.
Diamagnetischer Zustand der Flammen und Gase pp. 429, 447.
— des Rauches pp. 431, 447.
Diamagnetismus 2243, 2417.
Differentielle magnetische Wirkung 2361, 2422, 2757, 2405, 3298, 3316.
Dove, Isothermenkarten 2880.
— Temperaturvertheilung auf der Erde 2949, 3063.
Dualitäten, elektrische p. 521.
— magnetische 3323, 3341, p. 522.
Duale Kräfte p. 403; 3324.

Eisen, Einfluss der Wärme auf den Magnetismus 2344, 3429.
Eisenoxydul, kohlensaures, Magnekrystallkraft in verschiedenen Medien 3379.
— Einfluss der Wärme 3411.
— — auf die absolute magnetische Kraft 3423.
Eisenvitriol, magnetisches Verhalten 2546, 2554, 2615.
Elektricität, mögliche Beziehung zur Gravitation 2702, 2717.
— Leitungsgeschwindigkeit pp. 473, 530.
Elektrische Drehung des Lichtes 2189, 2195.
— Gesetz derselben 2199.
— in Flüssigkeiten 2201, 2183.
— — in Eisenröhren 2209.
— in selbstdrehenden Körpern 2204.
— in verschiedenen Körpern 2211.
Elektromagnet, grosser 2247.
— Woolwich Spirale 2246.
Elektrotonischer Zustand 3172, 3269.
Erdmagnetismus 2447.
— Wirkung am Aequator und an den Polen 2449.
— Vertheilung seiner Kraft 2849.
— Verschiedenheit der Richtung 2874.
— magnetischer Zustand des Erdinnern p. 409.

Fizeau, Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in Metalldrähten p. 474.
— Anwendung des Condensators bei Ruhmkorff's Inductionsapparat pp. 475, 485.
Flammen, Diamagnetismus pp. 431, 433, 447, 450.
Forbes, Erdmagnetismus 2961.

Fort Simpson, magnetische Variationen 2914, 2968.
Foucault, Leitung der Elektrolyte p. 575.
Fresnel's Linsenapparat p. 627.

Galvanometer aus dickem Draht 3123, 3124, 3126, 3177, 3178, 3179, 3184.
Gase zeigen keine Ausdehnung unter Einfluss des Magnetismus 2718, 2750, 2756.
— magnetische Drehung des Lichtes 2186.
— magnetischer Charakter 2785, 2792, p. 431.
— — Einfluss der Wärme 2855—2858, 2861; pp. 433, 445.
— Einwirkung des Magnetismus 2400, 2432.
— magnetisches Verhalten pp. 435, 440.
— — Ammoniak pp. 439, 445.
— — Brom p. 440.
— — Chlor pp. 440, 444.
— — Cyan p. 440.
— — Jod p. 440.
— — Jodwasserstoffsäure p. 439.
— — Kohlenoxyd pp. 438, 442, 444.
— — Kohlensäure pp. 438, 442, 445.
— — Leuchtgas (Steinkohlengas) pp. 439, 442, 446.
— — Luft pp. 437, 442, 443.
— — Oelbildendes Gas pp. 439, 445.
— — Salpetrigsaures Gas p. 439.
— — Salzsäure pp. 439, 444.
— — Sauerstoff pp. 437, 442, 443, 445.
— — Schweflige Säure p. 439.
— — Stickoxyd pp. 439, 444, 445.
— — Stickstoff pp. 437, 442, 443, 445.
— — Stickstoffoxydul pp. 439, 443.
— — Wasserstoff pp. 438, 442, 445.
— Untersuchung im magnetischen Felde 2723, 2728, 2734, 2754, 2770.
— — mittelst eines Lichtstrahles 2723.
— — in engen Gefässen 2730, 2737, 2743, 2749.
— — als Blasen 2758, 2765.
— — Wasserstoff in Luft 2740.
Gautier über Coincidenzen magnetischer Variationen und Sonnenflecke p. 634 f.
Gay-Lussac, Intensität des Erdmagnetismus in höheren Luftschichten 2850, 2961.
Glas, schweres 2151, 2176, 2214.
— Einwirkung des Magnetismus 2253, 2273.
— Abstossung 2259, 2265, 2266.
— äquatoriale Einstellung 2253, 2264.
— Drehung des Lichtes 2152, 2171.
Gonnelle, Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in Metalldrähten p. 474.
Gravitationskraft 3305 Note, p. 525.
— mögliche Beziehung zur Elektricität 2702, 2717.
— ihre Kraftlinien 3245.
Greenwich, magnetische Variationen 2911, 3018.
Grove, Anwendung einer condensirenden Vorrichtung beim Inductionsapparat p. 584.
Guttapercha, Anwendung zu elektrischen Zwecken p. 454.

*Hennig p. 164.
Herschel 2341.
Hobarton, magnetische Variationen 2896, 2948, 3027.
Humboldt, Erdmagnetismus 2962.

Induction, elektrische p. 467.
— Abhängigkeit von Zwischentheilchen 2240.
— und Leitung p. 472.
— magnetoelektrischer Ströme 3087, 3270.
— elektrodynamische in Flüssigkeiten p. 570.
— elektrostatische p. 613.
— — Wirkung nichtleitender Körper p. 588.
Intensität und Quantität p. 477.
Isolation und Leitung p. 472.

Kalkspath, Verhalten gegen Magnetismus 2595, 2600, 2842, 3321.
— Einfluss der Wärme auf das magnekrystallische Verhalten 3413, 3415.
Knoblauch, Magnekrystallwirkung p. 194 Anm., 3393.
Kohlensäuregas, magnetische Charaktere 2857.
Kraft, nothwendige Erhaltung der 3326, p. 526.
— physikalisch betrachtet p. 525.
— — Schwere 3245, p. 525.
Kraftlinien 3245, p. 412.

Kraftlinien, elektrische 2149, 3276.
— physische 3303, pp. 401, 521, 524.
— — des Lichtes p. 402.
— — der Elektricität p. 403.
— — des Magnetismus 3303, pp. 401, 404, 465.
Kraftlinien, magnetische 2149, 3070, 3122, 3174, 3243, 3300, pp. 521, 637.
— Definition 3071.
— als bestimmter Kraftbetrag 3073, 3103, 3109, 3121, 3129, 3165, 3199, 3232.
— Vertheilung innerhalb eines Magnets 3084, 3116, 3120, 3273.
— Vertheilung im Raume 3084, 3099, 3129, 3274.
— Polarität 3072, 3154, 3157.
— als wahrer Ausdruck der Naturvorgänge 3074, 3122, 3174, 3243.
— Einheit 3122.
— geschlossene Curven 3117, 3230, 3264.
— Abbildung 3234.
— Erkennung 3076.
— — durch Inductionsströme 3077, 3083, 3123, 3159, 3177.
— — — Vorzüge 3078, 3115, 3116, 3156, 3176, 3280.
— Magnet und Draht rotiren gleichzeitig 3084, 3091, 3095.
— — einzeln 3094—3097, 3106.
— — Einfluss der Zeit 3104, 3114, 3135.
— — — Entfernung 3107, 3109, 3111.
— — — Geschwindigkeit 3108, 3114, 3135.
— Drähte von verschiedener Dicke 3133, 3141, 3191, 3203.
— — in verschiedenen Ebenen 3140.
— — aus verschiedenen Substanzen 3143, 3152.
— Einfluss der Masse 3137, 3150.
— in verschiedenen Medien 3292.
— in heissem und kaltem Nickel 3240.
— rings um einen elektrischen Strom 3239.
— combinirter Magnete fliessen zusammen 3226.
— — ohne Kraftzuwachs 3227.
— Bahn durch einen oder mehrere Magnete 3230.
— entgegengestellter Magnete 3233.
— physischer Charakter 3075, 3243, 3269, 3273, 3279.
Kraftlinien, magnetische, physischer Charakter, Beziehung zur Zeit 3253.
— gekrümmte Bahnen 3254, 3258, 3261, 3263, 3297, 3323.
— Begrenztheit ihrer Menge 3255.
— Abhängigkeit der Polaritäten von einander 3257, 3323.
— Beziehung zu den elektrischen Kraftlinien 3265.
— ein Spannungszustand 3269.
— Nachweis durch bewegte Leiter 3270.
— Brechung 3274.
— Verdichtung 3275.
— der Erde 2849.
— — Vertheilung in der Atmosphäre 2865, 2919.
— — ihre Quantität und Intensität 2870.
Krystalle, magnetische Drehung des Lichtes 2177.
Krystallpolarität des Wismuths 2457.
— des Antimons 2508.
— des Arseniks 2532.
— des Kalkspaths 2594.
— des Eisenvitriols 2615, 2546, 2554.
— des rothen Blutlaugensalzes 2560.
— der Salze 2547.
— verschiedener Körper 2535.
Krystalltheilchen in Lösung, ihre gegenseitige Beziehung 2578.
*Kundt, magnetische Drehung der Polarisationsebene des Lichtes in Gasen p. 10.
Kupfer, Anziehung und Abstossung 2338.
— ein magnetisches Medium 3339.
— unter Einwirkung des Magnetismus 2309, 2323, 2411.
— — eigenthümliche Erscheinungen 2310, 2317, 2326, 2333.
— — Rückstoss 2315, 2336, 2411.
Kupffer, Erdmagnetismus 2961.

Lamont, Periodicität der magnetischen Variationen p. 634.
Le Baillif, über magnetische Wirkung auf Wismuth und Antimon p. 40 Anm., p. 75 Anm.
Leiter für Magnetismus 2806, 2828.
— diamagnetische 2807, 2815, 2829.
— paramagnetische 2807, 2814, 2828.
Leitung, elektrische p. 574.

Leitung, magnetische 2797, 2843, 3281.
— magnekrystallische 2836.
— und Induction p. 472.
Leuchtthürme, Erleuchtung p. 626.
Licht, Elektricität und Magnetismus, Fälle, in denen keine Einwirkung stattfindet 2216.
— magnetische Einwirkung 2146, 2152, 2157, p. 416.
— Magnetisirung 2146, 2221.
— Einwirkung der Elektricität 2189, 2221.
— magnetische Drehung 2428, p. 427.
Logeman's Magnet p. 458, 3368.
— Leitung der Elektrolyte p. 575.
Luft, magnetisches Verhalten 2400, 2406, 2432, 2791, 2853, pp. 437, 444.
— Einfluss der Wärme 2855, 2859, p. 434 f.

Magnekrystallkraft 2469, 2479, 2550, 2562, 2576, 2585, 2624, 2836.
— Vergleichung mit der Strahlungskraft 2591.
— differentielle, in verschiedenen Medien 3365.
— Einfluss der Wärme 3394.
Magnekrystallische Leitung 2836.
Magnekrystallische Polarität 2454, 2550, 2624, 2639.
Magnekrystallische Wirkung 2454, 2479, 2550, 2551.
Magnet, physischer Zustand 3257, 3273, 3331, 3336, 3357, 3361.
— innere Constitution 3117.
— Beziehung zu dem umgebenden Raum 3278, 3284.
— äussere Kraftvertheilung 3305, 3332, 3336, 3361.
— kugelförmiger 3331, 3357, p. 524.
— röhrenförmiger 3346.
— Kraftlinien im Innern 3100, 3116, 3120.
— — ringsherum 3099, 3101, 3117.
— — Untersuchung durch Inductionsströme 3177, 3215.
— — — bei Combination mit anderen Magneten 3215.
Magnete, veränderliche und unveränderliche 3224.
— übersättigt 3285.
Magnete, Wirkung der Anker 3283.
— umgebende Medien 3278, 3292.
— Einfluss der Gestalt und Grösse 3282, 3286, 3287, 3290.
— Analogie mit Volta'schen Batterien 3228, 3276, 3282.
— Sitz der Kraftlinien 3295.
— Bestimmtheit ihres Kraftbetrages 3121, 3215.
— — bei Combination mit anderen Magneten 3218.
— Wirkung auf das Licht 2146, 2152, 2157, 2170, 2609.
— — schweres Glas 2253, 2259, 2265, 2266, 2273.
— — Metalle etc. 2287, 2295, 2309, 2333, 2348.
— — Antimon 2306, 2391, 2508.
— — Arsen 2383, 2532.
— — Blei 2378, 2539.
— — Cer 2373.
— — Chrom 2374.
— — Eisen, heisses 2344.
— — Eisenverbindungen 2349.
— — Eisenvitriol 2546, 2554, 2615.
— — Erden 2395.
— — Gold 2540.
— — Iridium 2386, 2542.
— — Kupfer 2537.
— — Luft und Gase 2400, 2432.
— — magnetische Lösungen 2357, 2361.
— — magnetische Salze 2352.
— — Mangan 2372.
— — Natrium 2393.
— — Nickel 2346, 2350, 2358.
— — Osmium 2385.
— — Palladium 2382.
— — Platin 2379.
— — Rhodium 2387, 2542.
— — Sauerstoff 2770, 2780, 2793, 2861, 2966, p. 437.
— — Tellur 2541.
— — Titan 2371, 2536.
— — Wismuth 2306, 2392, 2457.
— — eine Wismuthkugel 2298, 3354, p. 524.
— — Wolfram 2389.
— — Zink 2535.
— — Zinn 2538.
— — Verbindungen magnetischer Metalle 2349.
Magnetische Anziehung und Abstossung, physikalische Ursache 3280.

Magnetische Drehung des Lichtes, Gesetz 2155, 2160, 2175, 2200, 2231, pp. 561, 565.
— Beziehung zur Zeit 2170, p. 427.
— Abhängigkeit von der Natur der Körper 2163, 2165, 2173, 2177, 2183, 2189, 2194, 2215, 2237, 2609, p. 419.
— Einfluss von Eisenmassen 2168.
Magnetische Dualitäten 3257, 3258, 3323, 3336, 3341, p. 521 f.
Magnetische Gewitter 2958.
Magnetische Kräfte, duale 3257, 3258, 3260, 3325, 3327—3332, 3335, 3336, 3341.
— Untersuchung durch Inductionsströme 3177, 3178, 3184.
— der Erde, untersucht durch rotirende Rechtecke etc. 3192, 3195, 3198, 3200 bis 3203, 3206, 3208, 3211, 3231.
Magnetische und elektrische Kräfte, Beziehung zu einander 3265.
Magnetische Leiter, Wirkung im magnetischen Felde 2810, 2828, 2839, 3313.
Magnetische Leitung 2797, 2843, 3281.
Magnetische Leitungspolarität 2818, 2835, 3166, 3307.
Magnetische Media 3313—3316, 3337, 3351, 3360.
Magnetische Polarität 3304, 3307, 3360.
— Definition und Natur 2832, 3154.
— zeigt sich nicht immer in Anziehung und Abstossung 3155.
— Nachweis durch Inductionsströme 3156, 3158, 3164.
— in einem gleichförmigen Felde 3157.
— Nachweis durch rotirende Scheiben und Kugeln 3159, 3360, p. 524.
— Gleichheit im Eisen, Kupfer, Wismuth etc. 3164, 3352—3354, 3358.
— harten Stahls 3355.
— harter Magnete 3357.
— verschiedener Lösungen 3316.
Magnetischer Rückstoss 2315, 2336, 2514, 2516, 2684.
Magnetische Variationen 2847, p. 296.
— und Sonnenflecke p. 634.
Magnetisches Feld, gleichförmiges 2463, 2465.
— Störung durch Leitung 2806, 2831.
— Zustand der Metalle darin 3172.
Magnetismus, Nachweis 2290.
— bewirkt keine Volumänderung der Körper 2718, 2750, 2752, 2756.
— Nullpunkt pp. 427, 448.
— Elektricität und Licht, Fälle, in denen keine Wirkung stattfindet 2216.
— atmosphärischer 2796, 2847, 2997, p. 293.
Magnetnadel, kein vollkommenes Messinstrument der erdmagnetischen Kraft 2871.
— Mangel ihrer Angaben 3280, 3293.
Magnetoelektrische Induction 2294, 2309, 2327, 2340, 2696, 3087, 3123, 3270.
Marchand und Scheerer, Abnahme der Dichtigkeit des Wismuths mit der Druckzunahme p. 637.
Masson, Anwendung einer condensirenden Vorrichtung beim Inductionsapparat p. 585.
— Leitung der Elektrolyte p. 575.
Materie, sämmtlich magnetisch 2227. 2242, 2243, 2274, 2286, 2417, p. 565.
— Beziehung zum Magnetismus 2226, 2286, 2443.
— — und Licht 2224.
Mateucci, Diamagnetismus des Kupfers p. 509.
— Leitung der Elektrolyte p. 575.
Melloni, Strömungsgeschwindigkeit der Elektricität p. 530.
Metalle unter Einwirkung von Magneten 2287.
— Zustand im magnetischen Felde 3172.
— magnetische Reihe 2399.
— magnetischer Zustand in der Wärme und Kälte p. 407 f.
— unter Einfluss der Induction 3145, 3152, 3164.
— diamagnetische 2291, 2295, 2397, 2425.
— magnetische 2288, 2292, 2398, 2425.
O'Mitchell, Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in Metalldrähten p. 474.
Morichini p. 18 Anm.
Mossotti, Zusammenhang der Naturkräfte p. 413.

Newton über die Schwerkraft 3305, pp. 466, 490 Anm.
Nickel, Magnetismus bei verschiedenen Temperaturen 2346, 3240.

Nickel, Einfluss der Wärme auf die absolute magnetische Kraft 3425.
Nobili, Induction in rotirenden Ringen p. 344 Anm.

Paramagnetische Körper, Definition 2790.
Phosphor, diamagnetisch 2277, 2284.
— seine magnetische Polarität p. 524.
Polarität, magnetische 3154, 3307; siehe magnetische Polarität.
— des Wismuths 3309.
— diamagnetische 2429, 2497, 2640, 2820.
— magnekrystallische 2454, 2550, 2639.
Physische Kraftlinien 3243, p. 402.
— der Schwere 3245, p. 526.
— strahlender Agentien 3247.
— der statischen Elektricität 3249, 3264.
— der dynamischen Elektricität 3250, 3276.
— magnetische 3243, 3251, 3300, pp. 401, 404, 465; siehe Kraftlinien, magnetische.
Plücker, Beziehung der optischen Axe zur magnetischen Wirkung 2469, 2592, 2609.
— Einwirkung des Magnetismus auf Wismuth 2497, 3253.
— Volumänderung der Gase im magnetischen Felde 2722, 2730.

*Quincke p. 164.

Rauch, diamagnetisch pp. 429, 447.
Raum, seine magnetischen Beziehungen 2400, 2787.
Reich, Einwirkung des Magnetismus auf Wismuth 2497, 2689.
*Ira Remsen p. 24.
Riess, Wirkung nichtleitender Körper bei der elektrischen Induction p. 597.
Ringmagnet, stählerner 3334.
*Röntgen, magnetische Drehung der Polarisationsebene des Lichtes in Gasen p. 10.
Ruhmkorff's Inductionsapparat p. 584.

Sabine, magnetische Variationsbeobachtungen 2891, 2909, 2947, 2949, 3016, 3028, 3045, 3049.
— Coincidenzen der Sonnenflecke und magnetischen Variationen p. 634.
Saigey, Magnetismus von Eisenverbindungen p. 75 Anm.
Scheerer siehe Marchand.
Sauerstoff, magnetische Beschaffenheit 2766, 2770, 2780, 2793, 2861, 2966, p. 437.
Seebeck, magnetische Polarität verschiedener Metalle p. 75 Anm.
Seiden-Webstuhl, elektrischer p. 630.
Seifenblasen aus Gasen, magnetisirt 2758, 2765.
Siemens, über unterirdische Telegraphendrähte p. 479.
Singapore, magnetische Variationen 3058, 3069.
Sinsteden, Anwendung einer condensirenden Vorrichtung beim Inductionsapparat p. 585.
Sonnenflecke, Periodicität derselben und der magnetischen Variationen p. 634.
Soret, über Leitung der Elektrolyte p. 575.
Sphondyloid magnetischer Kraft 3271, 3276.
St. Helena, magnetische Variationen 3045, 3069.
St. Petersburg, magnetische Variationen 2915, 2968, 3009.
Stahlmagnet, umgekehrter 3357.
— verhält sich nicht wie Wismuth 3358, p. 524.
Stickstoff, magnetische Beschaffenheit 2770, 2783, 2854, 2858.

Telegraphendrähte, isolirte pp. 467, 529.
— in der Luft pp. 469, 470, 472, 533.
— unter Wasser, mit Elektricität geladen p. 468.
— — ihre Leitung pp. 469, 529.
— — ihre Induction pp. 470, 533.
— unterirdische pp. 471, 478.
— — ihre Ladung p. 471.
— — ihre laterale Induction pp. 471, 476, 532.
— — ihre Leitung pp. 471, 475, 532.
— — — Stromdauer pp. 471, 475, 529.
— — — gleichzeitige Wellen p. 471.
Thomson über Kraftlinien p. 487.
*Töpler p. 164.
Toronto, magnetische Variationen 2905, 2948, 2968, 3027.
Torsionswaage für magnetische Beobachtungen p. 458.

Tyndall über Magnekrystallwirkung p. 194 Anm., 3393.
Turmalin, Magnekrystallkraft in verschiedenen Medien 3377.
— Einfluss der Wärme 3407.

Vacuum, magnetischer Charakter 2770, 2786, 3277.
— Nullpunkt des Magnetismus p. 427, 448.
Van Rees über Kraftlinien p. 487.
Variation, magnetische, jährliche, 2882, 2947.
— tägliche 2892, 2920.

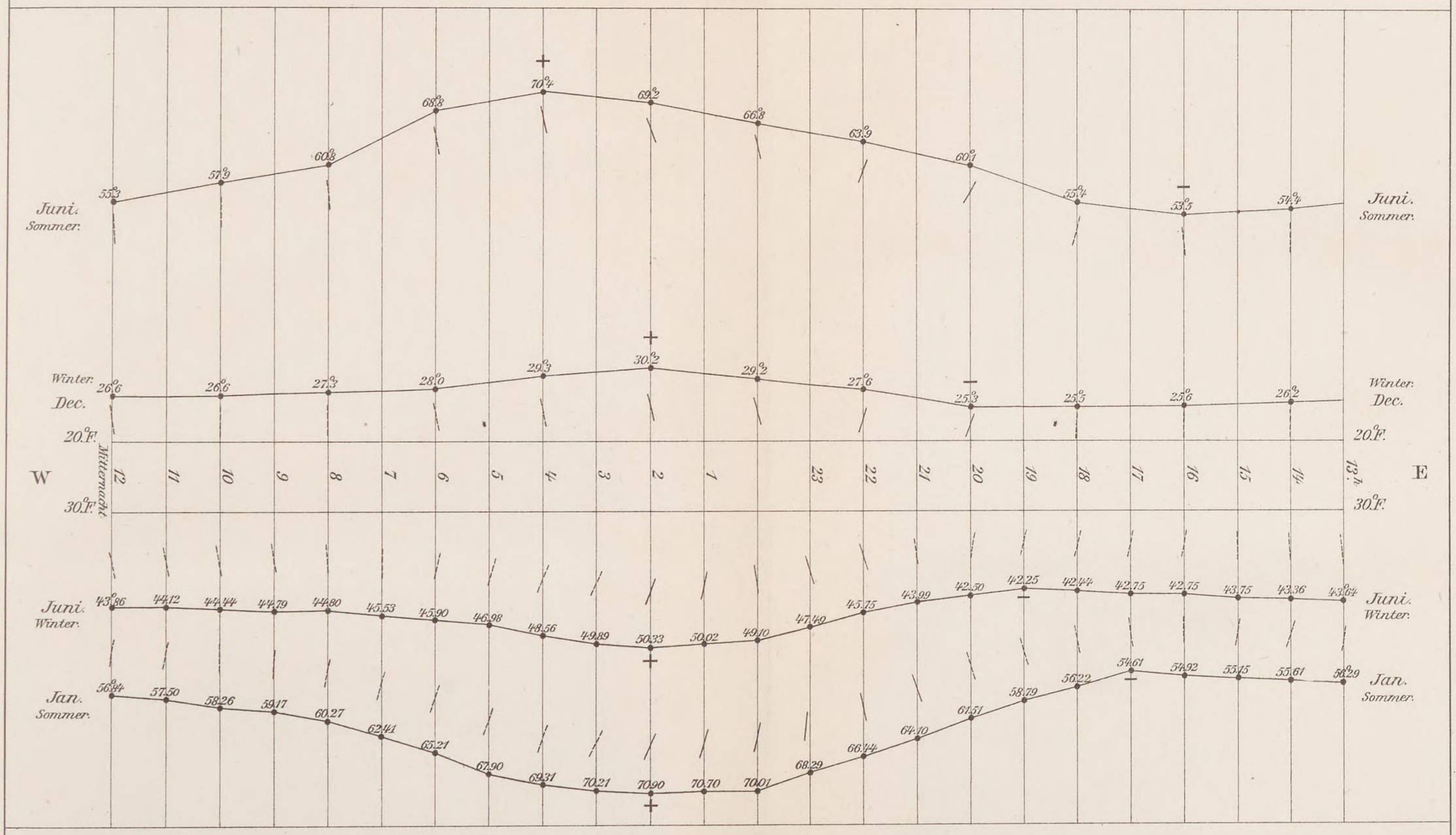
Walker, Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in Metalldrähten p. 474.
Wartmann 2147.
Weber, Diamagnetismus 2689, 2693.
Wheatstone's elektrischer Telegraph in Beziehung zur Wissenschaft p. 619.
— Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in Metalldrähten p. 473 f.
Wismuth, diamagnetisch 2295.
— Bewegungen unter Einfluss des Magnetismus 2297, 2308.
— statischer magnetischer Zustand 3319.
— flüssiges unter Einfluss des Magnetismus 2502, 2507.
— rotirende Kugel 3354, p. 524.
— unter Einfluss des Magnetismus, in Pulverform 2302, 2304.
— — in verschiedenen Medien 2301.
— — in der Umgebung von Eisen 2301.
— — übt keine Anziehung auf ein anderes Stück Wismuth aus 2303.
— magnekrystallisches Verhalten 2454.
Wismuth, magnekrystallisches Verhalten in verschiedenen Medien 3373.
— Einfluss der Wärme 3398.
— magnetische Polarität 3309.
— gleich der des Eisens und Kupfers 3164, 3168.
— gleich der eines gewöhnlichen Magnets 3358.
— vermeintliche Umgekehrtheit wie die des Eisens 3310.
— — involvirt vier Arten von Magnetismus 3311.
— — involvirt widersprechende Schlussfolgerungen 3311.
— — involvirt die Vorstellung einer perpetuirlichen Bewegung 3320.
Wismuthkrystalle, Gestalt und Spaltung 2474.
— magnetische Stellung 2475, 2480, 2574, 2840.
— — Einfluss des Eisens darauf 2487.
— — Einfluss von Magneten darauf 2491.
— Wirkung auf Magnete 2567.
— in der Wärme nicht magnekrystallisch 2570.
— behalten keine magnetische Kraft zurück 2504.
— üben keine Wirkung auf einander aus 2582.
— und Erdmagnetismus 2581.
Wolf über Coincidenzen magnetischer Variationen und Sonnenflecke p. 634 f.
Wollaston, magnetisches Verhalten von Titankrystallen 2371.

Zantedeschi über magnetische Bewegungen der Flammen p. 450.

Druck von Theodor Hofmann in Gera.

Fig. 12.

Breite 43.° 39.′ 35.″ N. Toronto *Länge 79.° 21.′ 30.″ W.*

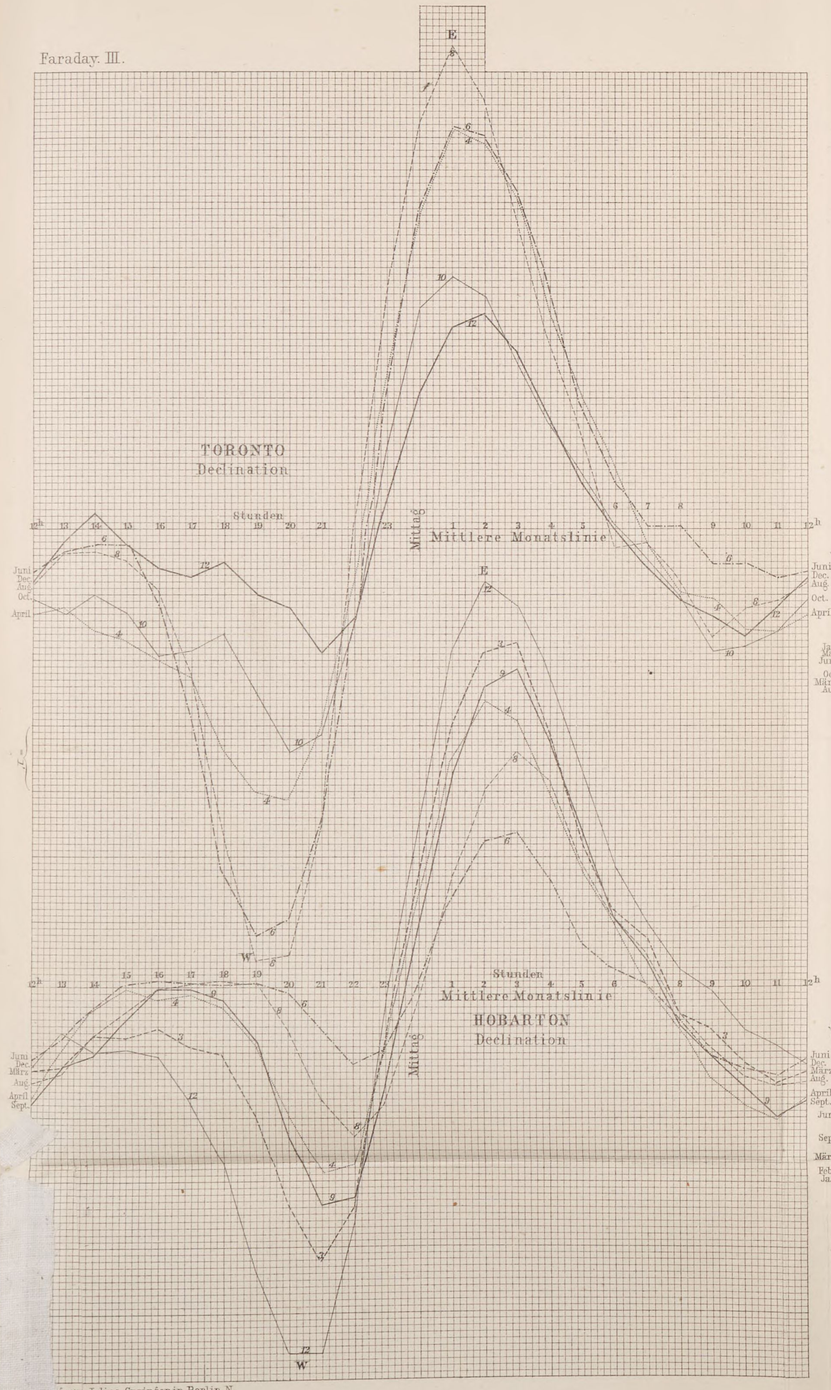


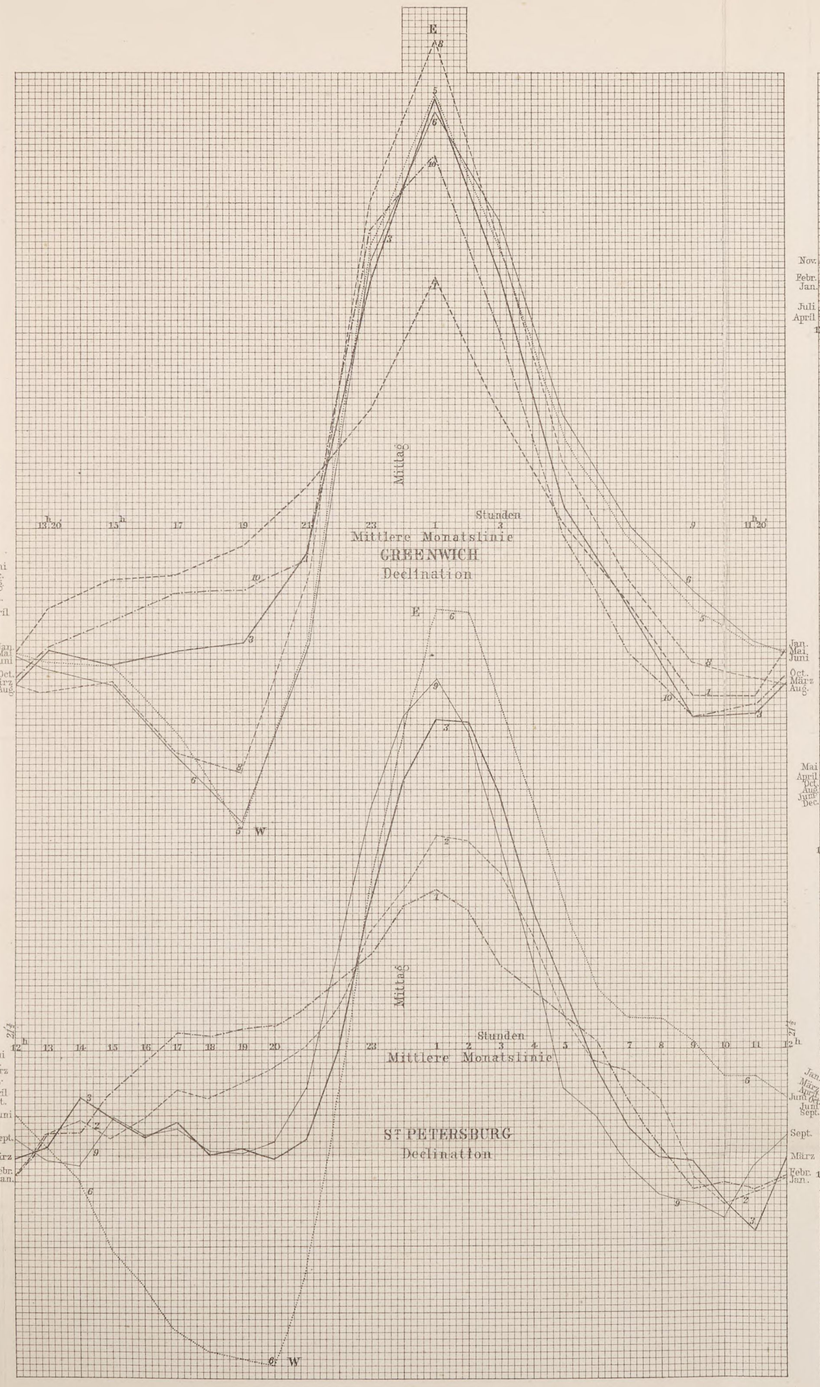
Breite 42.° 52.′ 5.″ S. Hobarton *Länge 147.° 25.′ 5.″ E.*

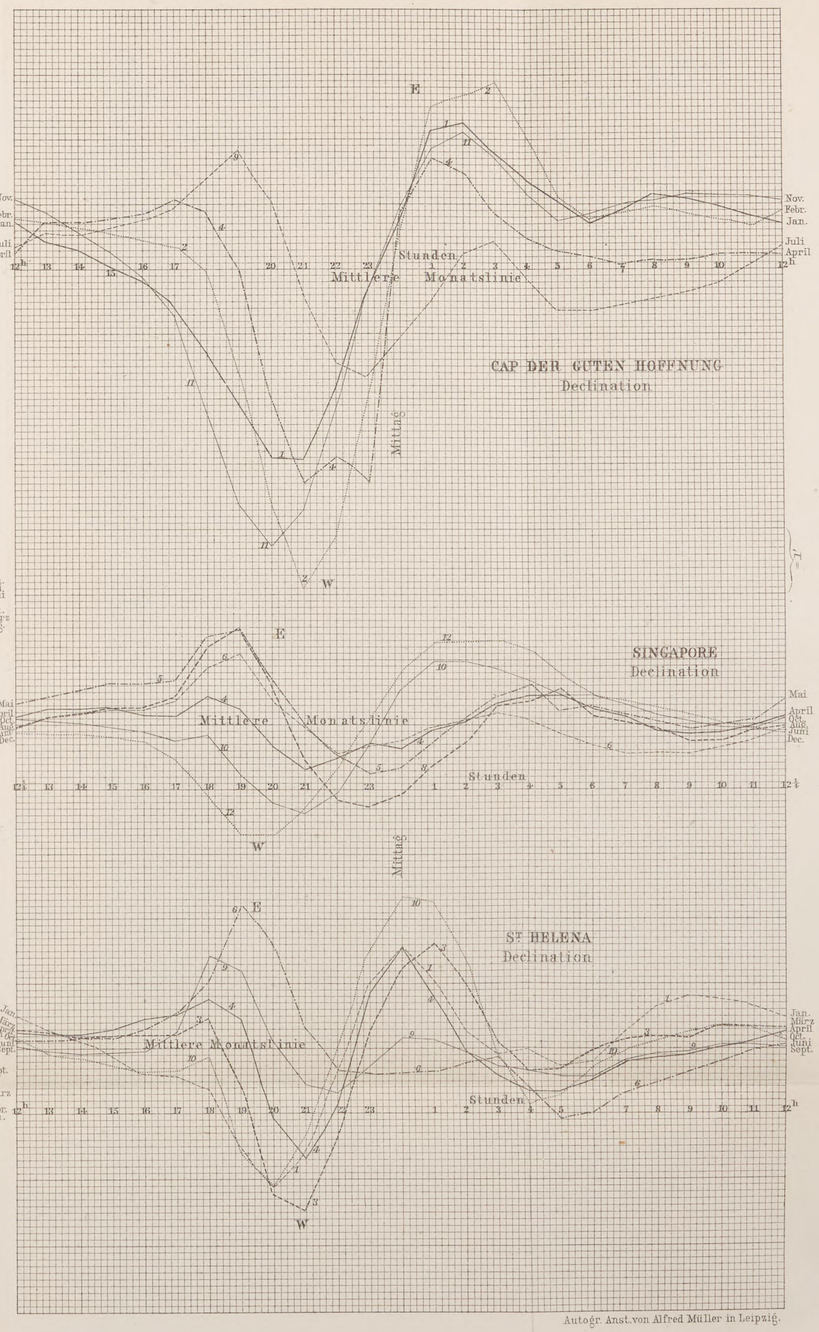
Fig. 10.

Verlag von Julius Springer in Berlin N.

Autogr. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.



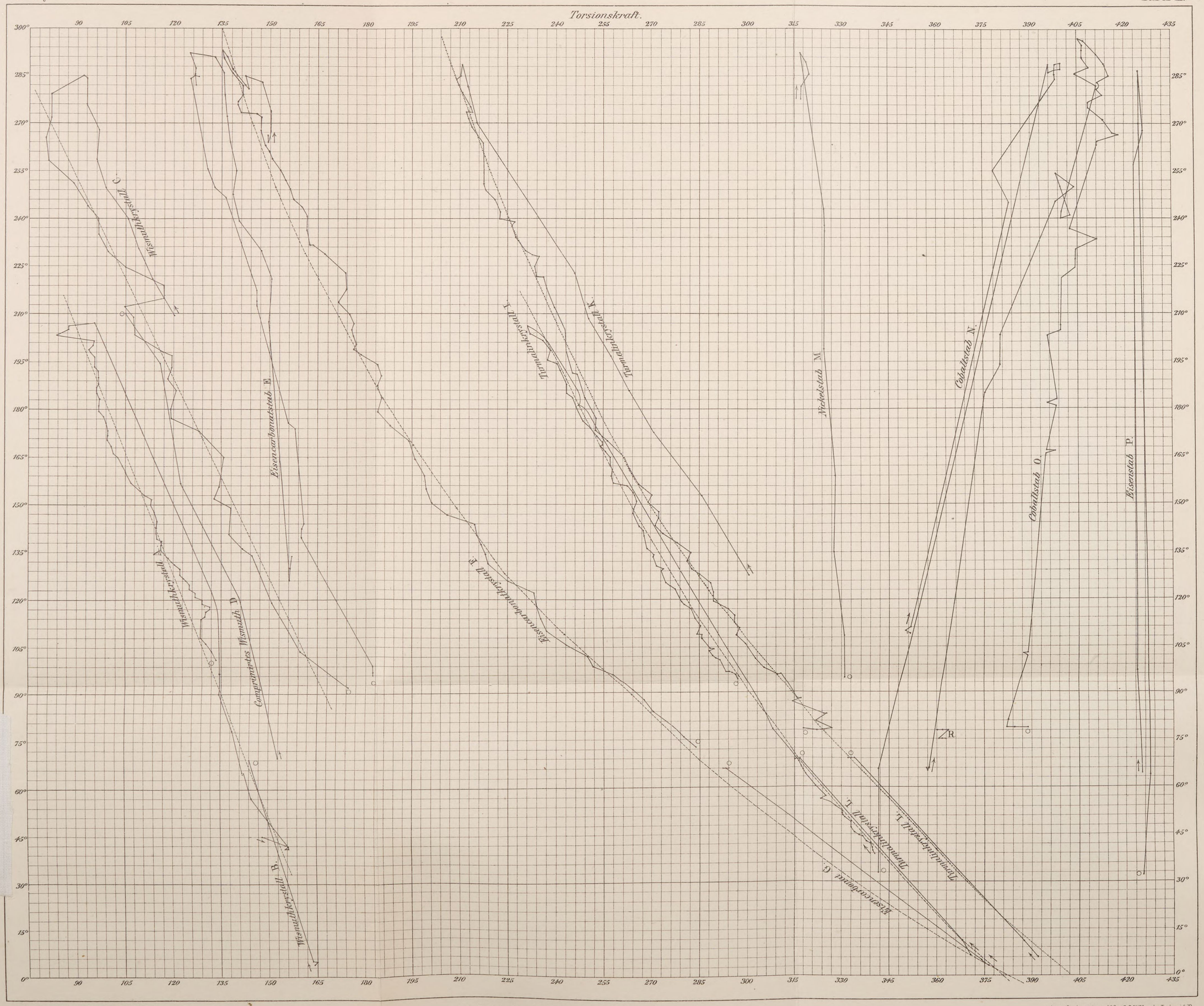




g von Julius Springer in Berlin N.

Autogr. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

Die Curven oberhalb der mittleren Monatslinie deuten östliche Lagen des oberen Endes einer freien Nadel an, die Curven unterhalb westliche Lagen.

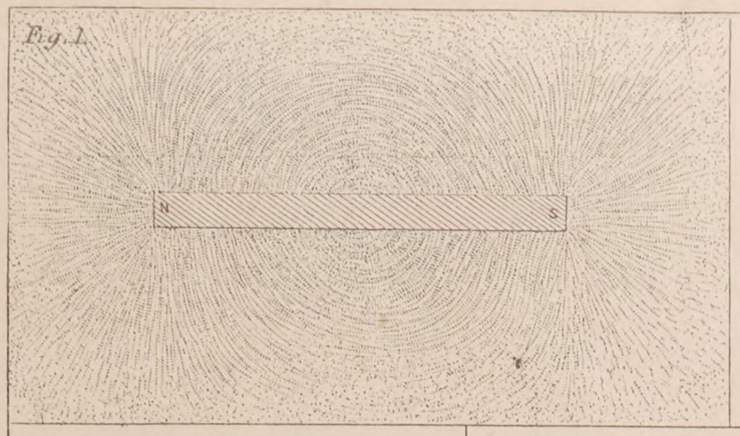


→ bedeutet den Anfang einer Beobachtungsreihe — ○ das Ende.

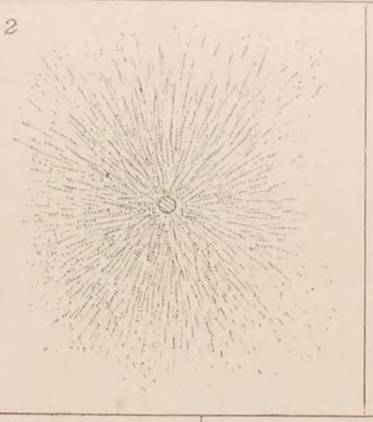
Verlag von Julius Springer in Berlin N.

Autogr. Anst. von Alfred Müller in Leipzig-R.

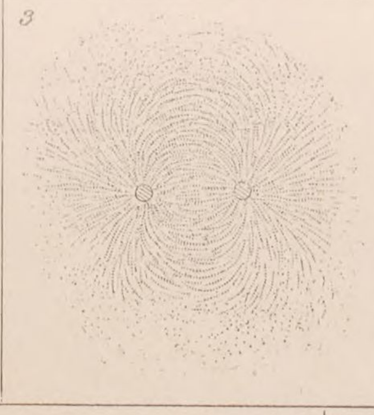
Fig. 1



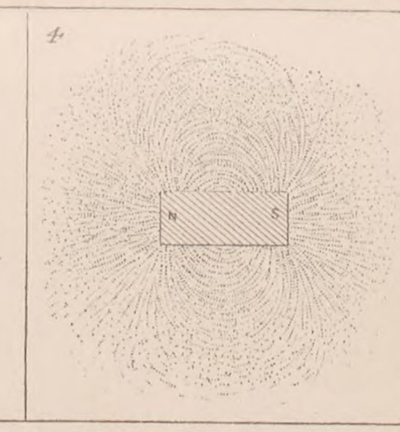
2



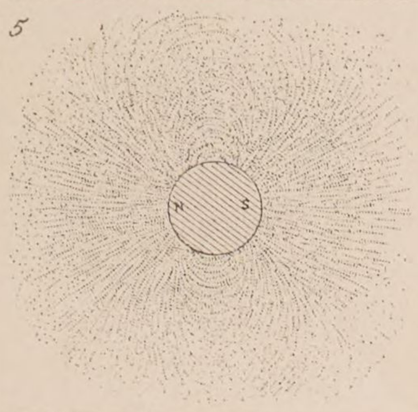
3



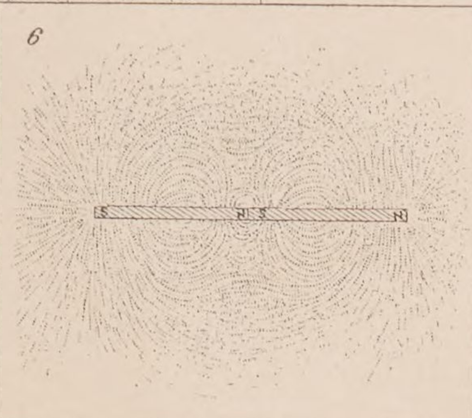
4



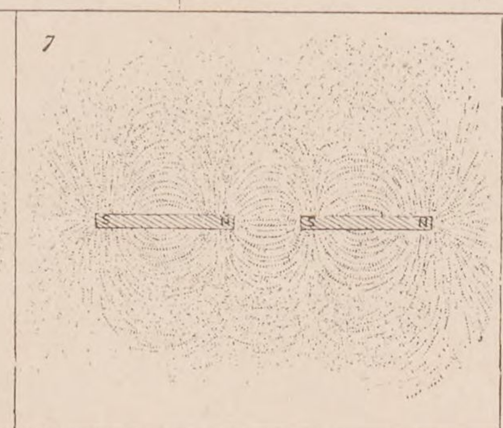
5



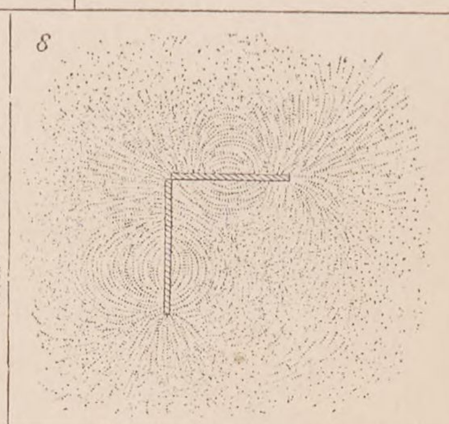
6



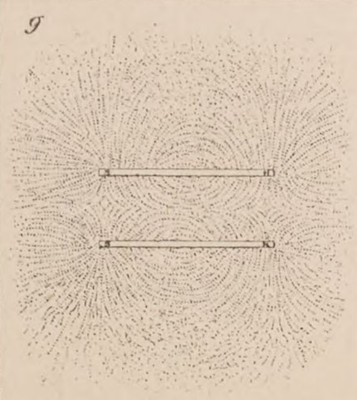
7



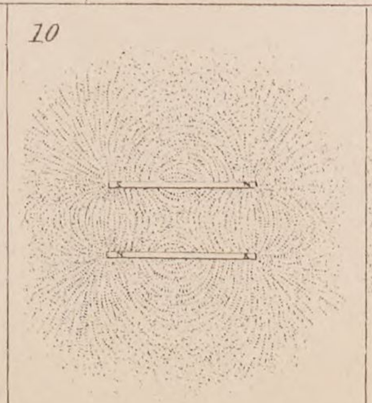
8



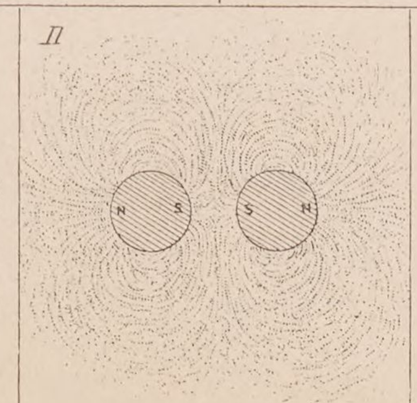
9



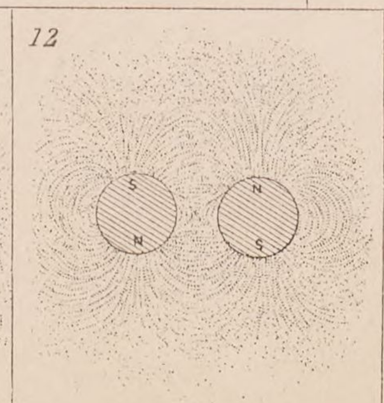
10



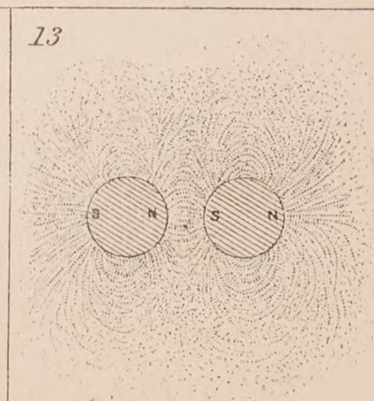
11



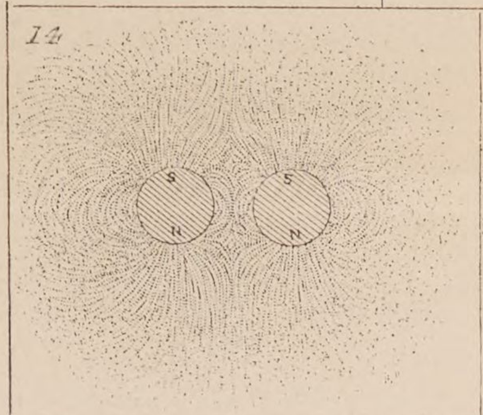
12



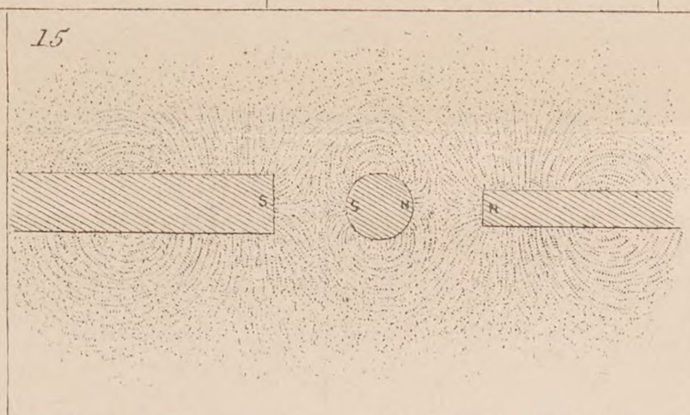
13



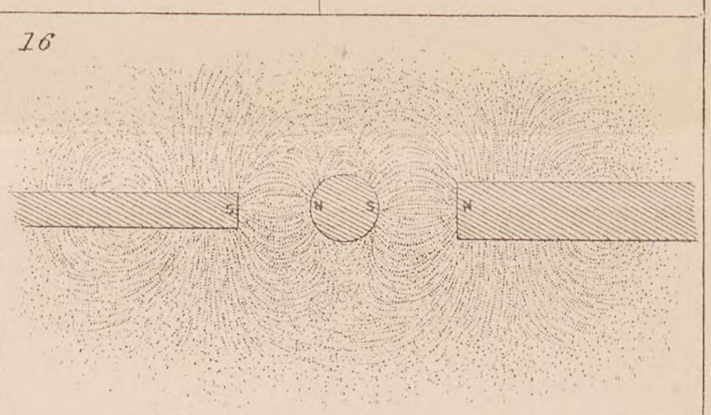
14



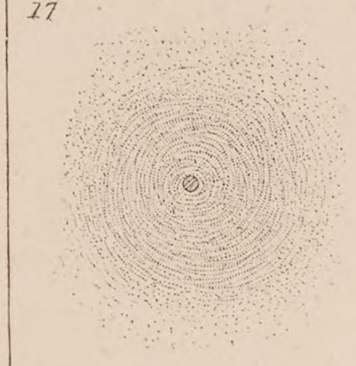
15



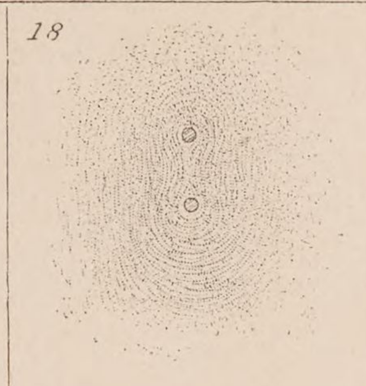
16



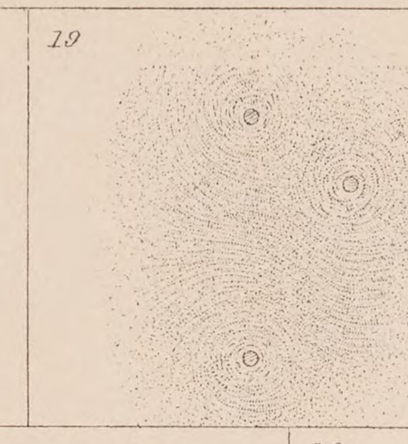
17



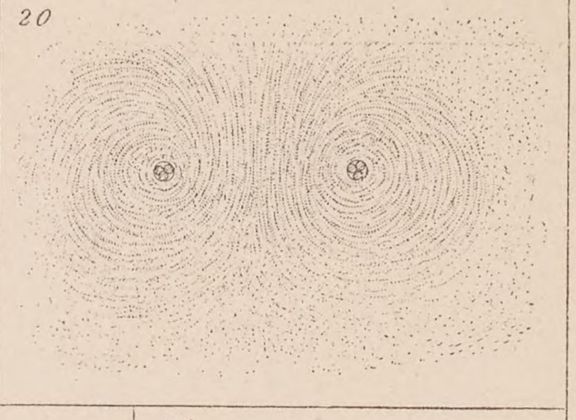
18



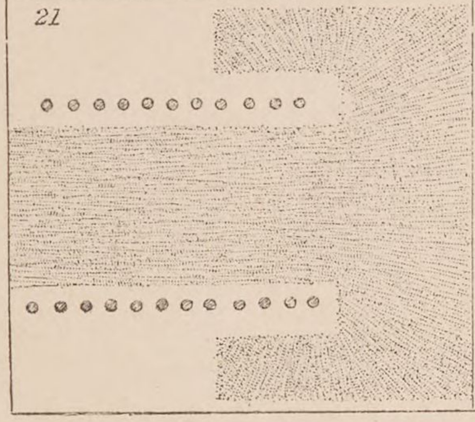
19



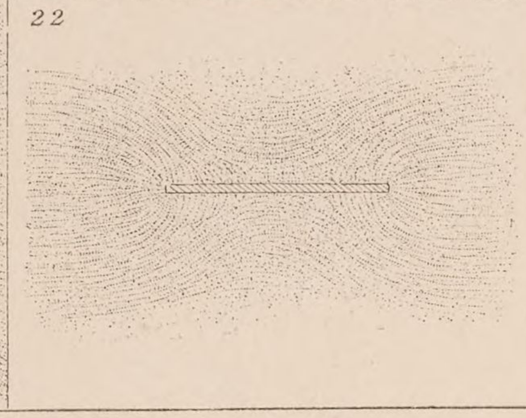
20



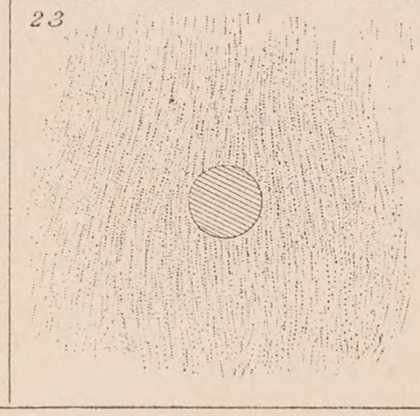
21



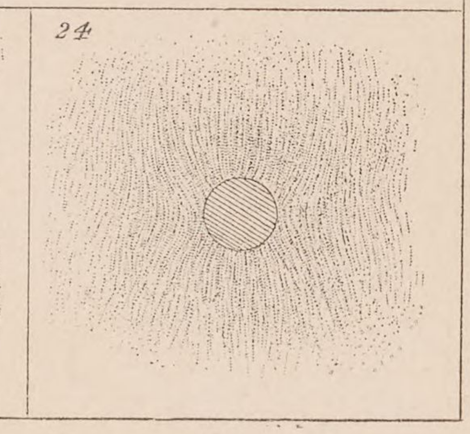
22



23



24



Verlag von Julius Springer in Berlin N.

Fig. 1.

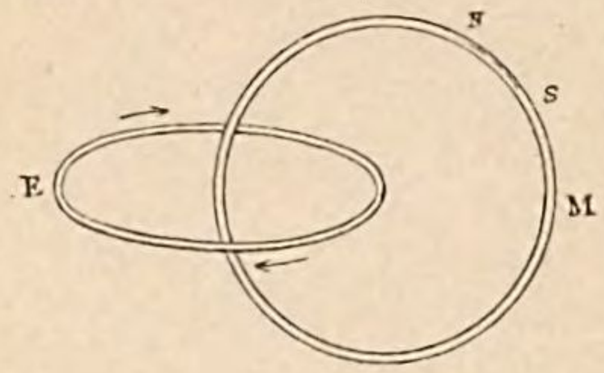


Fig. 3

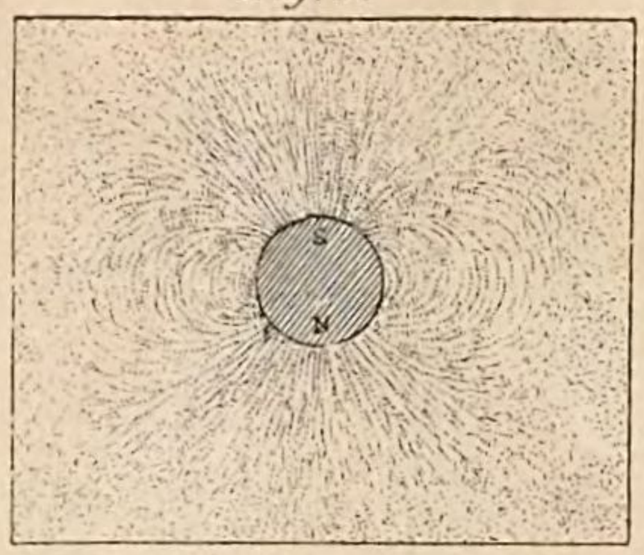


Fig 2.

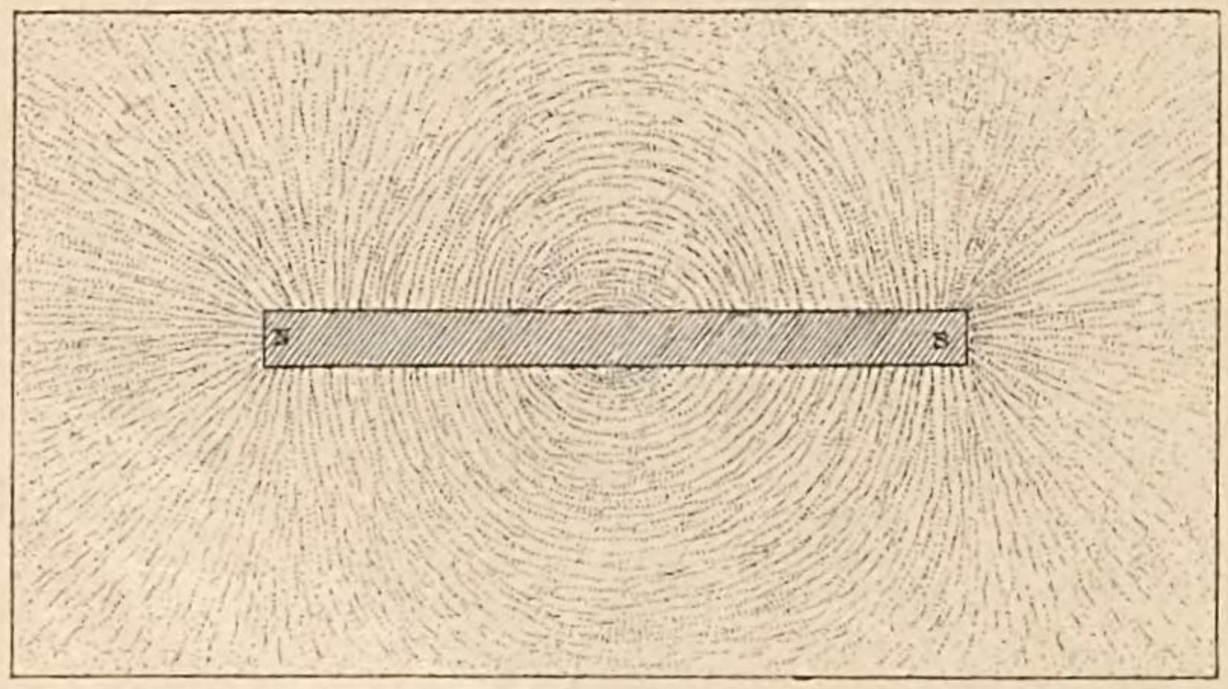


Fig 4.

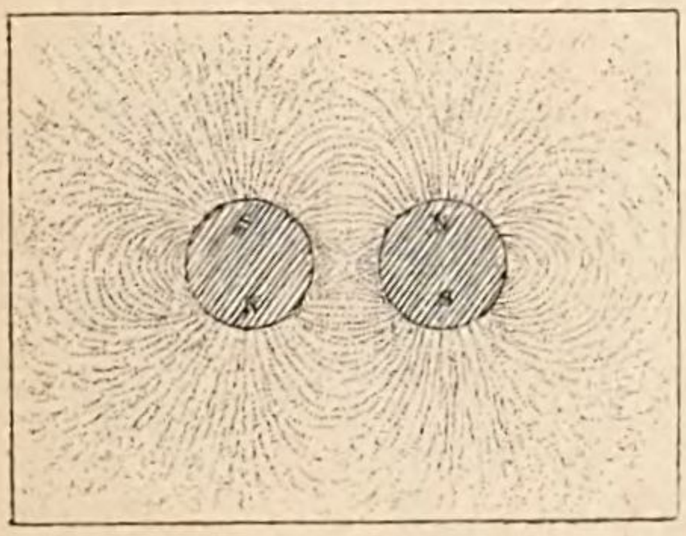


Fig. 5.

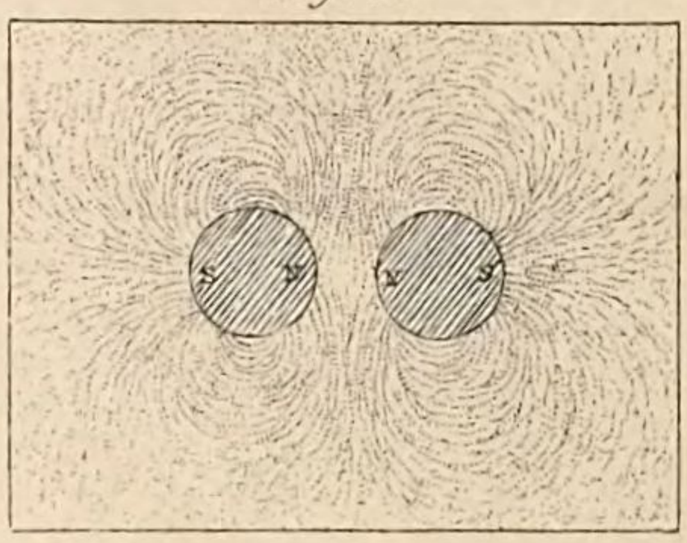


Fig 6

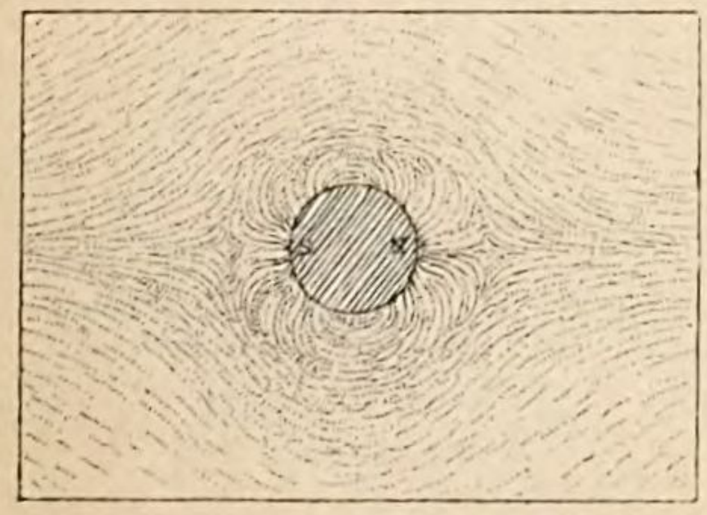


Fig 7

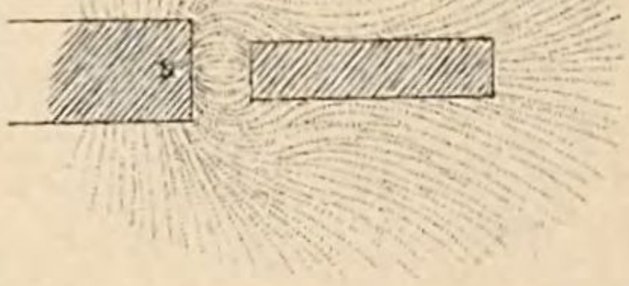
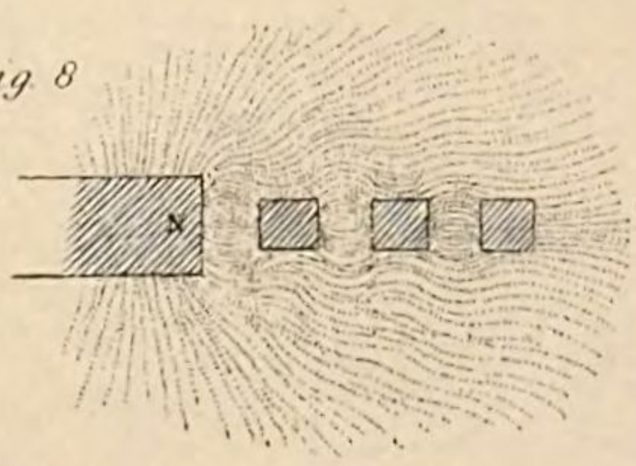


Fig 8



Verlag von Julius Springer in Berlin N.

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Faraday, Michael

Experimental-Untersuchungen über Elektricität in drei Bänden

Bd.: 3

(1891)

Phys.sp. 215 nb-2/3
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11881542-4